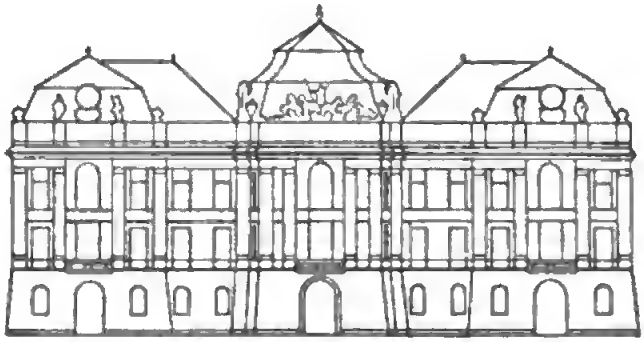
18. C. 35.

MENTEM ALIT ET EXCOLIT



K.K. HOFBIBLIOTHEK
ÖSTERR. NATIONALBIBLIOTHEK

18.C.35

Digitized by Google

Digitized by Google

18. C. 35.

DESCRIPTION

DU PONT SUSPENDU EN FIL DE FER.

Digitized by Google

Autres Ouvrages du même Auteur, chez J.-J. Paschoud :

Mémorial pour les travaux de guerre, in-8.°; 6 fr. de France.
De la Fortification permanente, 1 vol. in-4.°, avec atlas de 35 pl. 20 fr.

Genève, de l'imprimerie de J.-J. Paschoud.

Digitized by Google

DESCRIPTION

DU PONT SUSPENDU EN FIL DE FER,

CONSTRUIT A GENÈVE;

PAR G.-H. DUFOUR,

Lieutenant-Colonel du Génie, Membre de la Légion d'honneur, Secrétaire de la Société des Arts de Genève, etc., etc.

BIBLIOTHECA PALAT. VINDOBONENSIS.

KAISERLICHE KOENIGL. HOFBIBLIOTHEK WIEN

GENÈVE,

CHEZ J.-J. PASCHOUD, IMPRIMEUR-LIBRAIRE.

PARIS,

MÊME MAISON DE COMMERCE,

RUE DE SEINE, N.° 48.

1824.

Digitized by Google

AVERTISSEMENT.

On ne doit considérer le pont de Genève que comme un premier essai d'un genre nouveau de construction susceptible de grands perfectionnemens, et dont l'utilité peut devenir générale. Cela seul m'enhardit à en donner la description. J'ai quelque temps hésité ; cependant après avoir réfléchi au temps que j'ai perdu en épreuves de tout genre et en tâtonnemens, il m'a paru que ce serait rendre service aux Ingénieurs que de leur faire connaître les difficultés que j'ai rencontrées, les moyens que j'ai employés pour les surmonter et ceux que l'expérience m'a appris devoir leur être préférés : je me suis donc décidé à publier ce mémoire que je n'ai pu terminer qu'en profitant des courts instants que me laissait un service militaire très-actif, auquel j'ai été momentanément appelé. N'écrivant que dans l'intérêt de l'art, et n'ayant d'autre but que celui d'être utile, je mets de côté tout amour-propre pour indiquer avec une égale franchise les avantages et les inconvéniens des procédés que j'ai suivis. Je m'estimerai heureux si je puis suggérer ainsi quelques idées à de plus habiles que moi et contribuer à l'adoption d'un nouveau moyen de communication qui peut amener de grands résultats.

KAISERLICHE KÖN. HOFBIBLIOTHEK WIEN

Digitized by Google

DESCRIPTION

DU PONT SUSPENDU EN FIL DE FER.

CHAPITRE I.er — Historique.

C'est à MM. Seguin, d'Annonay, que nous devons la première idée d'appliquer des fils de fer à la construction des ponts suspendus. Ils ont fait, chez eux, un petit pont d'une cinquantaine de pieds de longueur qui, par son extrême simplicité, n'a pas coûté plus de cinquante francs. Ils ont profité de deux culées naturelles pour l'attacher et l'ont fait de quatre fils sur lesquels ont été fixées de petites traverses recouvertes de planches en long. Cette première expérience réussit assez bien pour persuader MM. Seguin de la possibilité d'employer le fil de fer dans la construction des ponts suspendus, faits sur le même principe que les ponts suspendus en chaines de l'Angleterre et de l'Amérique ; et il ont présenté un projet pour un grand pont à établir sur le Rhône entre Tain et Tournon. Dans ces entrefaites, MM. les professeurs Pictet et De Candolle après un voyage à Annonay, proposèrent de construire en fil de fer, le nouveau pont de piétons qu'il était question d'établir à Genève, entre la promenade de *St. Antoine* et celle des *Tranchées*. Cette proposition fut accueillie avec une grande faveur, parce que chacun sentit l'utilité que le nouveau genre de cons-

Digitized by Google

truction pourroit avoir dans un pays tel que la Suisse coupé de rivières et de ravins profonds, au travers desquels il est souvent impossible de jeter des ponts ordinaires. M. Seguin l'aîné, par une effet de son extrême complaisance, vint à Genève nous faire part de ses lumières; il visita avec moi la localité et nous jetâmes ensemble les premières bases du projet. C'est ainsi que je fus appelé à porter mon attention sur un objet auquel j'étais resté jusqu'alors étranger, quoique le principe ne me fut pas absolument inconnu; car, on a proposé et mis à exécution dans les armées, des ponts suspendus en cordes ordinaires pour le passage des torrens profonds dans les montagnes (Voy. Gassendi, Aide-mémoire, pag. 1220); et j'en avais même indiqué la construction dans un cours de Fortification que je donnai aux officiers de notre milice dans l'année 1818.

Mais il y a loin de la simple théorie à la pratique, et du projet à l'exécution dans les choses nouvelles. On marche à tâtons quand on n'a pas l'expérience pour guide; le moindre oubli peut devenir fatal, et il suffit d'une seule circonstance imprévue ou mal calculée pour échouer. Ces considérations me firent sentir tout le poids de la responsabilité dont j'allais me charger; je consacrai, dès lors, la plus grande partie de mon temps à une entreprise qui m'intéressait autant qu'elle pouvait me donner d'inquiétude et dont le succès pouvait seul légitimer la hardiesse. Je ne me dissimulai point les difficultés qui devaient se présenter; j'entrevis les contre-temps, les fausses manœuvres, tout ce qui pouvait résulter de l'inexpérience des ouvriers. L'espoir d'atteindre un but utile me fit surmonter ces obstacles. Je m'entourai de maîtres habiles, (1) et je mis aussitôt la main à l'œuvre.

---

(1) Entr'autres MM. Messaz et Targe, le premier pour la charpente, le second pour la serrurerie et la confection des faisceaux. Tous deux m'ont été du plus grand secours par leurs conseils et leur habileté.

Digitized by Google

Le plan et le devis furent bientôt achevés, c'était en ceci le plus facile. La dépense s'élevait à 35,000 fl., environ 16,000 fr. de France. Dans l'exécution, le projet a reçu de légères modifications, cependant le coût total ne s'est écarté que fort peu de la somme prévue. Il fallait soixante et dix actions de 500 fl. pour fournir la somme nécessaire; elles ont été placées en deux jours, tant est grand l'empressement des citoyens, quand il est question du bien public et de l'embellissement de la ville; car dans une entreprise nouvelle et par conséquent hazardeuse, il y avait plûtôt à craindre quelque perte, qu'un bénéfice à espérer.

Les actionnaires nomment un Comité directeur, obtiennent du Gouvernement la jouissance d'un faible péage pendant vingt années, et on ne songe plus qu'à l'exécution. Dès-lors l'Ingénieur a carte blanche; il n'éprouve aucune de ces oppositions si ordinaires dans les administrations. On a confiance en lui; il cherche à s'en rendre digne par ses soins et la plus sévère économie.

Digitized by Google

CHAPITRE II. — Expériences.

Avant de donner la description du pont, j'entrerai dans quelques détails relativement aux expériences (1) que j'ai cru devoir faire pour bien connaître les matériaux que j'allais employer. Elles ont eu pour objet de déterminer la force absolue des fils de fer de différentes grosseurs pris dans les fabriques de notre voisinage, leurs allongemens sous le poids, les effets des secousses, l'influence du recuit; et surtout de vérifier jusqu'à quel point les plis et les attaches peuvent déterminer une rupture sous des charges données. Je les ai faites dans le local de la machine hydraulique où toutes les commodités sont réunies, et j'ai pu en conséquence y mettre de l'exactitude. Le diamètre des fils a été mesuré avec un petit compas de l'invention de M. Paul, donnant immédiatement les dixièmes de millimètres, et au moyen duquel on peut avec un peu d'habitude apprécier les vingtièmes de millimètres; M. le Prof. Pictet m'a en outre procuré l'avantage de vérifier ces mesures au moyen d'un micromètre qui donne les dix millièmes du pouce anglais.

§. I.er — *Force absolue et relative des fils.*

Les premiers fils soumis à l'expérience ont été tirés de la fabrique de Laferrière et choisis dans les numéros 4, 13, 17 et 19 qui correspondent à des grosseurs de un, deux, trois et quatre millimètres environ.

Fil, n.° 4. Ce fil a 0,85 millimètres de grosseur, sa section est de 0,569 millimètres carrés. Il a été d'abord soumis à six ex-

(1) Ces expériences sont déjà consignées dans les Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève; je les donne ici pour éviter au lecteur la peine de les aller chercher dans ce Recueil.

Digitized by Google

périences desquelles il est résulté : 1.° que la force est indépendante de la longueur, ce qu'il était facile de prévoir, et que je ne consigne ici que pour répondre aux personnes peu versées dans la théorie qui ne manquent pas, quand elles raisonnent sur ce sujet, d'avancer le contraire. J'ai choisi le fil le plus fin comme le plus propre à démontrer l'égalité de résistance dans des longueurs qui ont varié d'un demi-mètre à trois mètres et demi; 2.° Le fil ne s'est rompu que sous le poids moyen de 48 kilogrammes qui mesure sa *force absolue;* cette force s'est élevée jusqu'à 50 kil., et n'a eu pour minimum que 47 kil.; en sorte que ce fil montre beaucoup d'égalité. La *force relative* du même fil, c'est-à-dire, celle dont il est capable par millimètre carré est de 84,4 kil. : on l'obtient en divisant les 48 kilogrammes trouvés par 0,^{mm} 569, section du fil.

Le même fil recuit, n'a plus porté que 21 kil.; c'est moins de moité de ce qu'il portait auparavant. Cette diminution de force, que nous allons voir être sensiblement la même pour les autres fils, est toujours accompagnée d'une plus grande ductilité. L'industrie a su mettre à profit cette circonstance pour livrer au commerce des fils d'une extrême ténuité, parmi lesquels se distinguent ceux de la fabrique de St-Gingolf établie par nos compatriotes MM. Duroveray et Carteret.

Fil, n.° 13. Le diamètre de ce fil est de 1,^{mm} 90, et sa section de 2,^{mm} 835. Dix expériences ont donné 196 kil. pour force absolue, mais les extrêmes se sont écartés considérablement; le maximum s'est élevé à 207, et le minimum est descendu jusqu'à 180. Cela tient à la qualité du fil qui, quelquefois montrait de légères pailles, et dans d'autres parties était parfaitement sain. La force relative est de 69,1 kilogrammes; celle du précédent était de 84,4 d'où résulte que le fil d'un millimètre de grosseur environ, a, proportion gardée, près d'un *septième de force* de plus que le fil d'un diamètre double; mais cette dé-

Digitized by Google

perdition de ténacité ne se propage heureusement pas dans le même rapport sur les fils suivans.

Le fil recuit de même grosseur, a porté en moyenne 101 kil. au moment de se rompre. Sa force absolue est ainsi un peu plus de moitié de celle du même fil non revenu : le rapport exact de ces deux forces est celui de 100 à 194.

Fil, n.° 17. Diamètre 2,^{mm}.75 ; section 5,^{mm}941. Ce fil s'est montré assez égal, ensorte que je me suis contenté de six expériences ; il a donné pour force absolue 382 kil., d'où résulte pour force relative 64,3 kil.; c'est 2,8 kil. de moins que pour le numéro précédent.

Le fil recuit ne porte que 196 kil. moyenne de huit expériences. C'est encore un peu plus de moitié de la force du même fil avant qu'on l'eût remis au feu. Le rapport exact de leurs forces est celui des nombres 100 et 195.

Fil, n.° 19. Diamètre 3,^{mm} 70; section 10,^{mm}752. La différence entre le maximum et le minimum de force n'a été que de deux kilogrammes, et trois expériences ont suffi pour fixer à 776 kil. la force absolue de ce fil, et à 72,2 kil. sa force relative. On est surpris de voir cette dernière, surpasser celle des deux fils précédens, quand la progression des forces relatives est jusque-là si visiblement décroissante. Cet anomalie m'a engagé à recommencer une autre série d'expériences sur les fils des mêmes numéros pris dans une autre fabrique, celle de St.-Gingolf, où je pouvais mieux m'assurer que les fers avaient une même origine. Mais je dois dire encore que le fil qui nous occupe n'a plus porté que 403 kil. quand il a été recuit. Le rapport de cette force à la précédente est 100 à 192.

Digitized by Google

Tableau des forces pour les fils de Laferrière.

Numéros des fils	Forces absolues	Forces relatives
4 de 0,mm 85	48 kil.	84, 4 kil.
13 — 1, 90	196, 0	69, 1
17 — 2, 75	382, 0	64, 3
19 — 3, 70	776, 0	72, 2

Je me contenterai, pour être bref, de présenter le tableau pareil au précédent qui fera connaître le résultat des expériences faites sur les fils de St.-Gingolf; et je dirai que les fils recuits ont également montré une force moindre de moitié dans les mêmes numéros: ce fait est ainsi suffisamment constaté.

Tableau des forces pour les fils de St.-Gingolf.

Numéros des fils	Forces absolues	Forces relatives
4 de 0,mm 85	38, 5 kil.	67, 7 kil.
13 — 1, 90	178, 0	62, 8
17 — 2, 75	349, 0	49, 4
19 — 3, 70	644, 0	59, 9

Il y a aussi au n.° 17 une anomalie en sens inverse de celle que présente le n.° 19 dans le tableau précédent, c'est-à-dire, que sa force est évidemment trop faible comparée aux autres; elle diffère de 13,4 kil. de celle qui précède et de 10,5 de celle qui suit. Le fil ne paraissait pas avoir subi tout son tirage, son diamètre était de 3,mm 00 au lieu de 2,mm 75 d'où résultait une section plus forte, et par conséquent une force relative moindre. Mais tous ceux qui se sont occupés de la résistance des solides ont trouvé, dans leurs recherches, de pareilles inégalités dont il est souvent bien difficile de se rendre compte.

Digitized by Google

Les fils de St.-Gingolf sont en général moins forts que ceux de Laferrière, mais plus doux, d'une résistance plus égale, et mieux capables de supporter des forces vives.

On peut conclure de ce qui précède, que les fils de un jusqu'à quatre ou cinq millimètres de grosseur, qui sont ceux qu'on employera le plus fréquemment, portent en moyenne 60 kil., au moins, par millimètre carré. (*Voy. le Tableau à la fin du Chapitre.*) Or, il paraît, d'après les expériences nombreuses, faites déjà sur le fer forgé, que des barres qui ne dépassent pas six millimètres d'équarrissage ne portent que 40 à 45 kil. et que, pour de plus grosses, il ne faut compter que sur 25 ou 30 kil. On voit par là l'immense avantage qu'il y a à employer le fer tiré en fils, plutôt que forgé en barres : il est plus maniable et sa force est double; on peut proportionner rigoureusement la résistance à l'effort qu'on a à vaincre, en mettant le nombre de fils convenable; et on est rassuré contre le danger des pailles intérieures que rien ne décèle à la vue dans de grosses barres.

Il semble d'abord que c'est sur le minimum de la force du fil de fer, et non sur la moyenne, qu'il faut compter; mais en réfléchissant que l'on forme des faisceaux de plusieurs fils, et même d'un grand nombre de fils, on verra que si dans le faisceau il y a des fils d'une force moindre, il en est d'autres capables d'une plus grande résistance; et qu'ainsi c'est par une moyenne qu'on peut apprécier la force du faisceau. Il n'en serait pas ainsi, si l'on voulait employer les fils isolément; il faudrait estimer leur force d'après le minimum, ce qui la réduirait à 49 kil., selon nos expériences.

Fils de laiton.

On a proposé de substituer dans la construction des ponts suspendus, le fil de laiton au fil de fer, comme moins alté-

Digitized by Google

rable par l'humidité de l'air. J'espère qu'avec le secours d'un vernis, nous parviendrons à garantir de la rouille nos fils de fer, et qu'ainsi nous n'aurons pas besoin de recourir aux fils de laiton qui coûtent d'achat cinq fois autant et qui sont plus difficiles à mettre en œuvre. Cependant, j'ai trouvé curieux de faire quelques essais, en voici les résultats. Le fil n.° 4, soit de 0,^{mm}85 de diamètre, aurait une force relative de 85,4 kil. si l'on pouvait compter sur une moyenne de quatre expériences, c'est-à-dire qu'il porterait par millimètre carré, un kilogramme de plus que le fil de fer de même grosseur tiré de Laferrière; et 17,6 kil. de plus que le fil de la fabrique de St.-Gingolf. Ce résultat m'a surpris, car le laiton a une ténacité bien inférieure à celle du fer forgé. Le tirage aurait-il la propriété d'agir plus efficacement sur le laiton que sur le fer, et de lui donner proportionnellement plus de nerf, au point de compenser et au-delà, son défaut de ténacité? Une même opération mécanique pourrait-elle, influer avec tant d'inégalité sur deux métaux très-malléables? Il n'y a rien d'impossible, quand on voit une même opération chimique produire des effets absolument contraires sur le fer et sur le bronze; la trempe ôte de la ténacité à l'un et en donne à l'autre. Je ne puis pas supposer pour expliquer le fait, que le hasard m'ait fait rencontrer chez deux marchands différens des fils d'une force au-delà de la moyenne. Au reste, on ne peut prononcer qu'après avoir fait un grand nombre d'expériences.

Je dirai encore, que pour le n.° 13, dont le diamètre est de 1,^{mm}90, la force relative, trouvée seulement par quatre expériences est de 66,1 kilogrammes, c'est trois kilogrammes de moins que le fil de fer même grosseur de Laferrière, et 3,3 kil. de plus que celui de St.-Gingolf; il est donc à peu près de même force, résultat qui semblerait confirmer ce qui a été avancé plus haut. Car, on peut dire, en suivant le raisonnement, que l'effet du tirage se fait d'autant moins sentir que le

Digitized by Google

fil est plus gros, et que peut-être on atteindrait bientôt la limite où le laiton redeviendrait inférieur au fer, et un point où les ténacités des fils seraient dans le même rapport que pour les métaux en barres.

Les mêmes fils de laiton recuits n'ont plus porté qu'environ la moitié, comme on pourra le voir par le tableau que je joins à ce Chapitre. Je n'en dirai pas davantage sur un objet en quelque sorte étranger à mon sujet.

§. 2. *Allongement des fils.*

Les fils s'allongent toujours de quantités plus ou moins appréciables avant de se rompre. Cet effet est important à connaître dans la pratique où il faut nécessairement y avoir égard, comme on fait pour le tassement des ponts de pierre. Voici les faits que j'ai recueillis sur ce point.

Les fils les plus minces sont ceux qui s'allongent davantage, et à mesure qu'ils deviennent plus gros, les différences dans leurs accroissemens sont moins sensibles; ainsi le n.° 4 s'allonge avant de se rompre de $\frac{57}{10000}$ de sa longueur primitive; et la fraction correspondante pour le fil n.° 19, n'est que $\frac{33}{10000}$ Cet allongement est, comme on voit, très peu considérable, même dans le cas le plus défavorable, c'est 0,^{m}57 pour cent mètres; mais il faut prendre garde de ne pas le confondre avec celui qui résulte de la simple disparution de tous les jarets du fil quand on le tend par un poids convenable. J'estime, quoique la mesure exacte de ce dernier effet soit difficile à donner, qu'un fil de moyenne grosseur du n.° 13 ou 14, par exemple, présentera, lorsqu'on l'aura tendu suffisamment, pour lui faire rendre un son en le pinçant et le voir parfaitement en ligne droite, une augmentation d'au moins $\frac{70}{10000}$ de la longueur qu'on lui aura assignée en le tendant simplement à la main; et du double

Digitized by Google

s'il y a un grand nombre de fils réunis, comme de quinze ou vingt et au-dessus. On doit donc compter, dans la pratique, qu'une corde en fil de fer donnera, lorsqu'elle sera chargée, un allongement de un mètre et demi pour cent mètres, ou en d'autres termes de $\frac{150}{10\,000}$ de la longueur primitive. C'est du moins ce que j'ai trouvé en suspendant un poids de trois mille kil. à une corde de douze fils, n.° 13, et de dix mètres de longueur, composée de fils simplement juxtaposés et liés de distance en distance. On ne parviendra à faire disparaître ce défaut des cordes de suspension, qu'en employant quelque moyen puissant de tendre ou de dresser leurs fils lorsqu'on les réunit en faisceaux. On n'aura plus à se précautionner alors que contre le premier allongement dont j'ai parlé, lequel est beaucoup moins considérable et ne se fait véritablement apercevoir que lorsque la charge arrive aux deux tiers de ce que le fil peut porter; or, on se gardera bien de jamais aller jusque-là. Tant qu'on n'a pas dépassé la moitié de la charge l'allongement est presque insensible; aux deux tiers et aux trois quarts, il est fort peu de chose, et ce n'est qu'aux neuf dixièmes qu'il approche d'être aussi grand que nous l'avons dit.

Il m'a paru que lorsqu'on charge un fil lentement et en n'augmentant le poids que d'une petite quantité chaque fois, l'allongement est un peu plus grand que lorsqu'on procède d'une manière plus expéditive. Cependant, un fil qu'on a laissé chargé des neuf dixièmes du maximum pendant seize heures, une fois, et une autre fois pendant vingt heures, n'a pas donné de différence bien appréciable, ni dans sa force ni dans son allongegement; il s'est montré à peu près égal à celui qui ne supportait l'épreuve que quelques minutes.

Un fil déjà étiré jusqu'à la rupture ne s'allonge plus que très-faiblement quand on le soumet de nouveau à l'expérience; et le poids qu'il porte la seconde fois ne diffère pas sensiblement de celui sous lequel il s'est rompu la première.

Digitized by Google

Quant aux fils recuits; leur allongement est très-considérable; il est à peu près le même pour tous les numéros, savoir, des $\frac{15}{100}$ de la longueur totale; et pour les fils de laiton il va jusqu'au tiers. On voit donc que, dans le but que nous nous proposons, des fils recuits ne peuvent servir que comme attaches.

§. 3. *De la cassure.*

L'étranglement qui se manifeste instantanément dans tous les fils de fer à l'endroit de leur rupture n'est, sans doute, d'aucune importance sous le point de vue de l'art; mais il mérite l'attention du physicien. En considérant l'extrémité d'un fil rompu par le poids, on la voit sensiblement arrondie et retrécie, quelle que soit la grosseur du fil; mais l'étranglement est, proportion gardée, plus grand pour les fils du plus fort diamètre, ce qui semblerait annoncer pour ceux-ci une plus grande ductilité, et pourtant leur allongement sous le poids est moins considérable.

Je n'ai jamais pu apercevoir d'avance le point où devait se faire la rupture d'un fil, bien que la contraction soit assez sensible pour que l'œil la saisisse, si elle a lieu avant la séparation; d'un autre côté je la remarquai encore quand le fil était rompu par une force vive qui ne permettait pas d'allongement progressif; je fus donc conduit à croire que le phénomène est instantané et ne se manifeste qu'au moment de la rupture. Pour m'en assurer je soumis de gros fils au tirage d'un cric placé horizontalement à une hauteur commode, de manière que les fils, se détachant sur une feuille de papier blanc, les moindres inégalités de leur surface fussent facilement aperçues. Ces fils n'ayant que dix à douze centimètres de longueur et étant observés par deux personnes à la fois, il était impossible que l'étranglement échappât, s'il devait indiquer d'avance le point de rup-

Digitized by Google

ture. Jamais on n'a pu l'apercevoir, malgré la lenteur avec laquelle le cric agissait; mais, au moment de la séparation, le fil subissait la contraction, et le phénomène montrait beaucoup d'analogie avec celui des deux gouttes d'eau qui, rapprochées jusqu'à un certain point, se précipitent subitement l'une contre l'autre quand elles sont arrivées au degré de proximité, qui suffit à la force d'attraction pour exercer son empire.

La plus légère inégalité à la surface affaiblit le fil et modifie la forme de l'étranglement, tandis que des fissures longitudinales, même assez considérables, et pénétrant jusqu'au centre, ont peu d'influence sur la force absolue; les trois expériences suivantes serviront à le prouver; elles ont été choisies parmi celles qui ont été faites sur le fil n.° 17, St.-Gingolf.

1.re *Expérience.* Le fil s'est rompu sous le poids de 364 kil.; vu à la loupe, il s'est montré sain d'un côté et fendillé longitudinalement de l'autre; une fissure allait jusqu'au centre du fil et s'y rélargissait pour y dégénérer en cylindre creux d'un quart de millimètre de largeur; la section se présentant comme celle d'un petit tuyau de pipe. La même cavité paraissait encore à dix centimètres de la cassure. L'étranglement ne s'est opéré que du côté de la partie saine; de l'autre, la rupture s'est faite en esquilles sans que le fil s'y soit resserré d'une manière sensible.

2.e *Expérience.* Le fil s'est rompu sous le poids de 383 kil., il était très-sain dans sa cassure et il a porté le maximum de la charge; l'étranglement était régulier tout autour du fil.

3.e *Expérience.* 334 kil. ont suffi pour rompre le fil; une légère paille à la surface a déterminé la rupture; l'étranglement ne s'est point manifesté du côté de cette paille, et il n'a pas été aussi prononcé que de coutume de l'autre côté.

On explique l'influence des inégalités à la surface pour diminuer notablement la force d'un fil, et le peu d'effet d'une fissure longitudinale, en considérant le fil comme un assemblage de fi-

Digitized by Google

brilles parallèles : une fissure longitudinale n'en diminue pas le nombre, elle ne fait que les séparer en deux faisceaux qui présentent à peu près la même force que le faisceau primitif; mais la moindre paille ou fissure transversale rompt nécessairement la continuité d'un certain nombre de fibrilles, et par conséquent affaiblit d'autant le faisceau.

§. 4.e *Plis, nœuds et ligatures.*

Il était extrêmement important de s'assurer que le fil métallique ne s'affaiblit point par le pli lorsqu'on le fait passer sur un barreau ou sur une poulie pour le doubler, et qu'il se comporte comme le fil mathématique, c'est-à-dire, que si les deux extrêmités viennent s'attacher au même poids, il faut que celui-ci, pour opérer la rupture, soit double du poids qui rompt le fil simple. Toute la théorie des faisceaux est en effet fondée sur la supposition que les plis n'ont pas d'influence.

Le fil numéro 13 passant dans un anneau de 15 millimètres de grosseur s'est constamment cassé au pli sous un poids très-inférieur à celui qu'il peut porter; le n.° 4 lui-même ne soutenait pas l'épreuve; je parle de fils non recuits, car avec les fils revenus au feu on peut faire sans crainte toute espèce de ligature. J'ai substitué à l'anneau une barre plus forte, d'environ seize lignes de diamètre, et dès-lors le fil n.° 13 dont je parle ne s'est plus rompu de préférence à l'endroit du pli, et il a constamment porté un poids double de celui qui mesure sa force absolue; et non-seulement le fil n.° 13 se comportait de la sorte, mais encore les fils supérieurs éprouvés jusqu'au n.° 19 supportaient la ligature. On peut donc conclure de là, que pourvu qu'on se serve de barres ou d'anneaux de un pouce et demi de grosseur soit 40 millimètres, la force des fils ne sera point diminuée par le pli, et que les calculs de leur résistance collective ne seront point en défaut.

Digitized by Google

Si l'on peut ainsi faire passer un fil sur un barreau sans crainte de l'affaiblir, il faut se garder de lui faire faire une ou plusieurs révolutions sur la même barre; celles-ci ne manquent presque jamais de déterminer la rupture sous une charge moindre; parce que le frottement qui résulte de cette disposition s'oppose à ce que le tirage se fasse également; le brin qui a le plus à porter se rompt, et presque toujours vers le pli.

Le moyen d'attache n'est pas non plus indifférent pour les fils non revenus, car ils se cassent toujours quand on leur fait faire un pli anguleux ou d'une courbure trop forte. Ainsi lorsqu'on voulait attacher à la barre les fils soumis à l'épreuve, en entortillant l'extrémité libre autour du brin qui devait être chargé, le poids occasionnait un pli à l'attache, et c'est là que se faisait toujours la rupture. Il fallait pour empêcher cet accident allonger la boucle et employer l'espèce de ligature dont je vais parler, au moyen de laquelle on évite toute espèce de pli. J'y ai été conduit en tâchant de lier ensemble les deux extrémités d'un fil double de manière à conserver le parallélisme des brins. Différens nœuds ont été essayés pour cette ligature, aucun n'a réussi. On a pensé alors à tordre les deux brins, en recourbant leurs extrêmités, et on a fait par dessus une ligature continue de six à huit centimètres de longueur; cette ligature était en fil recuit n.° 4. Le procédé a parfaitement réussi; le nœud a tenu, et la rupture s'est faite au milieu du fil.

Ceci m'a engagé à rechercher jusqu'à quel point on pourrait réduire la ligature; je suis descendu à cinq à trois centimètres. J'ai supprimé les crochet et le nœud tenait toujours. A la longueur de trois centimètres les fils se tordaient difficilement ce qui faisait craindre une rupture; j'ai alors essayé de les juxtaposer simplement, et de faire la ligature de six centimètres. Le succès a été complet, et j'ai pu réduire cette ligature jusqu'à deux centimètres et demi sans la voir céder, ni sous le

Digitized by Google

poids, ni sous le choc. Rien de plus heureux pour la pratique que de voir le moyen le plus simple de ligature être en même temps le plus solide.

Quoique j'aie trouvé qu'une ligature faite avec le n.° 4 pût se réduire à 25 millimètres, je ne pense pas que dans l'application il faille lui donner moins de 45 millimètres, car il est arrivé quelquefois, surtout par un froid de sept degrés, que les fils glissaient sous la charge quand la ligature n'avait que 30 millimètres. Cependant, par ce froid, les attaches qui avaient résisté antérieurement à l'épreuve ne cédaient pas. Je fixerai donc la longueur de l'attache à 50 millimètres, ou un pouce et neuf lignes en compte rond.

Quand on défait la ligature on voit sur la surface du fil une légère empreinte spirale, qui explique la force de l'attache.

Le fil de laiton recuit s'allonge trop pour être propre aux ligatures; et le fil de fer déjà étiré est meilleur pour cet objet que celui qui ne l'est pas. Observations qui ont toutes leur degré d'utilité.

Enfin, j'ai vérifié dans les essais du n.° 14 qu'une ligature de 50 millimètres de longueur, faite avec le fil n.° 4 recuit et non tiré, ne cède pas non plus quand on la couvre d'huile; ensorte qu'on est sûr que les fils ainsi liés, supporteront toute espèce de vernis sans glisser ni se défaire.

§. 5.—*Du choc.*

Les fils employés à la construction des ponts suspendus ne seront, il est vrai, jamais chargés que d'une partie du poids qu'ils peuvent porter au moment de se rompre; mais ils seront exposés à des forces vives qui sont d'autant plus dangereuses que les fils sont plus aigres ou qu'ils manifestent plus de résistance à la simple traction. J'ai donc cherché à apprécier ce

Digitized by Google

dont ils sont capables pour résister aux forces vives ou de choc, lorsque déjà ils sont chargés de la moitié ou du tiers du poids qui les fait rompre.

Un fil n.° 13, St. Gingolf a d'abord été chargé de 70 kil. c'est environ les $\frac{4}{10}$ de sa force absolue. On a fait tomber sur la caisse qui portait les poids une masse de fer pesant dix kilogrammes, d'abord de deux centimètres, puis de quatre, puis de six, et ainsi de suite jusqu'à un mètre sans produire aucun effet. La charge a alors été portée à 100 kil., dépassant ainsi la moitié du maximum, et, dans plusieurs expériences, la masse a occasionné la rupture en tombant de 55 centimètres. Les ligatures de 40 millimètres ont très-bien résisté quand elles étaient en fil de fer, mais en fil de laiton elles cédaient. La hauteur de chute que nous venons de trouver donne par la formule connue $\sqrt{2gh}$ une vitesse de 328,5 centimètres (g étant égal à 9^m, 809 pour la seconde sexagésimale) d'où résulte une quantité de mouvement exprimée par le nombre 3285 à laquelle le fil chargé, comme nous l'avons dit, n'a pu résister; d'où nous pouvons conclure que le fil n.° 13, ne portant plus que la moitié du poids qui peut le faire rompre, pourra soutenir sans danger une quantité de mouvement exprimée par le nombre rond 3000; les poids étant donnés en kilogrammes et les vitesses étant mesurées en centimètres.

Le fil n.° 14 St.-Gingolf soutenant la moitié du poids maximum s'est rompu à différentes reprises sous le choc des dix kilogrammes tombant de 95 centimètres, d'où résulte une vitesse de 432 centimètres, et une quantité de mouvement de 4320: d'où je conclus que ce fil ainsi chargé peut résister sans se rompre à une quantité de mouvement exprimée par le nombre rond 4000; c'est mille de plus que pour le n.° 13. Le même fil ne soutenant plus que le tiers du poids maximum n'a, dans plusieurs épreuves, cédé qu'à une chute moyenne de 138 centimètres, qui correspond à une vitesse de 520 centimètres et donne 5200 pour la

Digitized by Google

quantité de mouvement. On peut donc avancer que le nombre 4800, au moins, est la mesure de la force vive que peut supporter sans danger le fil chargé au tiers.

Je n'ai pas fait d'épreuves sur des fils plus forts, parce que ceux qu'il est question d'employer au nouveau pont ne dépasseront pas ce numéro. Le pont sera soutenu par 540 fils qui ne seront chargés que du tiers au plus de ce qu'ils peuvent porter, quand le pont serait couvert de 150 personnes, chacune estimée à 70 kil. Supposons donc que ces 150 personnes marchent au pas redoublé ou tombent toutes à la fois d'une hauteur de 10 centimètres, la quantité de mouvement qui en résultera sera 9800 par homme, et 1 470 000 pour les 150. Mais chaque fil peut supporter une force vive d'au moins 4800; nous en avons 540; la résistance qu'ils opposent collectivement au choc est donc de 2 592 000, nombre presque double du précédent. Le pont résisterait dont à l'épreuve, mais il est plus prudent de ne pas l'y soumettre, parce que l'ébranlement est nuisible aux maçonneries.

§. 6. — *Effets de la température.*

Il me reste à dire que quelques expériences faites par une température assez froide me portent à croire que les fils sont notablement plus faibles que par une température moins rigoureuse. Le fait devrait être constaté par un plus grand nombre d'expériences avant que d'être affirmé. Le fil n.° 13 St.-Gingolf éprouvé par un froid de 8½ degrés centigrades n'a donné que 166 kil. en moyenne au lieu de 180 qui est sa force absolue. Il se pourrait cependant que la différence ne fut due qu'à une inégalité dans le fil quoiqu'on l'eût autant que possible choisi de la même qualité. Le fil n.° 17 Laferrière, par une température de six degrés au-dessous de zéro, s'est rompu sous le poids de 367 kil. en moyenne et s'est montré plus faible de 15 kil. que par une

Digitized by Google

température + 4. Les fils éprouvés étaient sains, et la différence observée ne peut pas être attribuée à des pailles ou autres défauts du même genre (1).

Moyenne de toutes les Expériences.

Fils de fer.

Numéros de fabrique.	Diamètres en millimètres	Sections en mill. carrés.	Forces absolues en kilogrammes.	Forces relatives.	Allongemens.	Nombres des Expér.	Observations.
4	0,85	0,569	43,5	76,4	0,0058	25	On n'a essayé ce fil que sur une seule qualité.
13	1,90	2,835	187	66,0	0,0047	23	
14	2,10	3,464	209	60,3	0,0040	7	
17	2,75	5,941	366	61,6	0,0035	10	
19	3,70	10,752	680	64,5	0,0033	10	

Fils de laiton.

4	0,85	0,569	48,5	85,2	0,0072	4	Fil mou, peut se nouer.
id. rec.	»	»	23,5	»	0,3421	2	
13	1,90	3,835	117,5	41,4	0,0067	4	Fil dur, cassant.
id. rec.	»	»	84,0	»	0,2381	2	
13	»	»	187,5	66,1	0,0069	4	
id. rec.	»	»	100,5	»	0,2817	2	

(1) Pour vérifier le fait de l'affaiblissement apparent du fil de fer par le froid, M. Macaire, membre de la Société de Physique de cette ville, proposa de faire passer le fil dans un manchon rempli d'un mélange frigorifique : si le froid a l'influence présumée, le fil se cassera dans le manchon, et en faisant varier les degrés de température depuis les froids que la chimie peut produire jusqu'à la chaleur de l'eau bouillante, on pourra suivre la marche de l'augmentation ou de la diminution de force avec les variations de température.

Cette idée heureuse a été réalisée. Nous avons fait en commun, M. Macaire et moi, une douzaine d'expériences sur le fil Laferrière, n.° 4. Les cinq premières ont

Digitized by Google

été faites par la température zéro et ont confirmé ce qui a été dit dans le mémoire, que la force absolue de ce fil est en moyenne de 48. kil.

Dans les trois suivantes, on a mis dans le manchon que traversait le fil un mélange de glace et de sel commun, portant le froid à 22 $\frac{1}{2}$ degrés centigrades, et le fil s'est cassé deux fois à 46 kil. et une fois à 47, poids moindres, il est vrai, que celui qui mesure la force absolue moyenne, mais dont on ne peut pas conclure un affaiblissement, parce qu'ils restent dans les limites des variations ordinaires, et surtout parce que la rupture ne s'est jamais faite dans le manchon. Il nous a paru dès-lors démontré qu'un fil, soumis à un froid assez rigoureux, ne perd pas de sa ténacité et que les résultats des expériences citées ne peuvent être attribués qu'à une différence dans la qualité des fils. La théorie dit en effet, que le froid en resserrant les métaux peut les rendre à la vérité plus fragiles, mais aussi doit augmenter leur ténacité; elle dit aussi, que par un effet contraire la chaleur les rend plus souples, moins cassans, et, en même temps, moins capables de résister à une simple force de traction.

Nous avons fait à cet égard deux expériences avec l'eau chaude, portant la température du manchon à 92 $\frac{1}{2}$ degrés. Le fil s'est rompu, une fois sous le poids de 45 $\frac{1}{2}$ kil. en dehors du manchon, et la seconde fois dans le manchon sous le poids de 46 $\frac{1}{2}$ kil. Ce qui montre bien clairement le peu d'effet de l'augmentation de température dans la limite indiquée. Si l'on voulait attribuer à la chaleur de l'eau bouillante, plûtôt qu'aux inégalités du fil, la diminution apparente de deux kil. en moyenne sur la force absolue, il faudrait conclure, pour être conséquent, que c'est entre zéro et 92 $\frac{1}{2}$ degrés qu'a lieu le minimum de force, puisque dans le manchon la rupture s'est faite sous le poids le plus fort : résultat impossible à admettre.

Une dernière expérience confirme ce qui est dit plus haut, sur le peu d'influence du chaud et du froid relativement à la force de traction. On a fait passer le fil dans deux manchons, dont l'un était à la température de — 22 $\frac{1}{2}$, l'autre à celle de + 92 $\frac{1}{2}$ et à la distance de 60 centimètres. Le fil s'est rompu entre les deux sous le poids de 45 $\frac{1}{2}$ kil.

Il paraît d'après cela que pour le n.° 4, du moins, la température n'a pas d'effet sensible sur la force du fil de fer à la traction, depuis — 22 $\frac{1}{2}$ centigrades jusqu'à + 92 $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire dans un espace de 125 degrés.

Le froid athmosphérique et prolongé aurait-il plus d'influence, et des fils plus gros y seraient-ils plus sensibles ? C'est ce qui ne peut s'éclaircir que par de nouvelles expériences faites par un froid rigoureux.

Digitized by Google

§. 7.—*Pont d'essai.*

Après m'être livré à ces diverses expériences, il me parut convenable de faire construire un pont d'essai sur une échelle assez grande pour donner aux actionnaires et à tout le public une idée exacte de celui qui était projeté. C'était en outre un moyen d'acquérir de nouvelles lumières et de prendre quelque confiance dans les moyens d'exécution que la réflexion et les conseils d'autrui m'avaient suggérés. Les maîtres et les ouvriers feraient là une espèce d'apprentissage qui les rendrait plus experts et plus entreprenans dans la construction du nouveau pont. On ne courait aucune espèce de danger dans cet essai, le travail devant se faire à une hauteur de soixante et dix centimètres seulement.

Dans un local assez vaste, et à l'abri des curieux, j'ai fait placer, à la distance de 12^{m}, 60, deux supports capables de résister à un grand effort; on y a attaché deux cordes en fil de fer, chacune de douze fils parallèles, liés de distance en distance; elles ont pris par leur propre poids, une courbure de 1^{m},43 de flèche; c'est plus, proportionnellement, que n'aura le pont projeté. J'ai voulu laisser aux cordes cette grande courbure, pour m'assurer que le moyen que je voulais employer pour attacher les fils verticaux, est parfaitement sûr : avec plus de tension des cordes, le pont aurait eu plus de stabilité. La chaînette que dessinait chaque corde présentait quelques inégalités, dues à la rigidité des fils et à leur peu de poids; les fils n'ayant que 1,85 millim. de diamètre, ne pesaient pas ensemble un kilog. par mètre courant de corde.

Les faisceaux suspenseurs étant ainsi placés, on y a attaché des poids jusqu'à la concurrence de 600 kilogrammes; et la chaînette s'est transformée en un polygone funiculaire, dont la par-

Digitized by Google

tie inférieure est descendue de 0m,087 au-dessous du point le plus bas de la précédente courbe; mais alors la corde s'était tendue, et les côtés du polygone présentaient des faisceaux serrés et d'une égale tension dans tous leurs fils. Ceci montre combien il est nécessaire de tendre fortement les cordes avant que d'y suspendre le pont. Après la charge, la flèche de courbure due à un excédent de 0m,375 de l'arc sur la corde, était de 1m,517.

On a ensuite suspendu onze traverses en bois de sapin, de 0m,075, sur 0m,100 d'équarrissage, et de 1m,20 de longueur, chacune portée par quatre fils. Trois longrines de même équarrissage, composées de plusieurs pièces assemblées bout à bout, ont été cloucés sur les traverses; et on a recouvert le tout d'un plancher de sapin de 1m,00 de largeur, et d'environ 12m,60 de longueur. Le corps du pont ainsi exécuté, on a coupé les ficelles qui portoient les poids, et il s'est trouvé suspendu, mais non encore arrêté par ses extrémités. En cet état, le plus léger choc imprimé au milieu du tablier du pont, occasionnait aux extrémités des vibrations telles qu'elles faisaient craindre la rupture des poutrelles, ou des fils de suspension. Il est donc bien nécessaire de fixer très-solidement aux culées les deux extrémités du tablier. La flèche de courbure des cordes diminua de 0,m025, quand la charge de 600 kil. fut enlevée, et que les cordes n'eurent plus à supporter dans le tablier, que la moitié de ce poids.

La chaînette, ou pour mieux dire, le polygone funiculaire changea légèrement de forme, en s'abaissant vers les extrémités, et se relevant vers le milieu.

Deux chevalets, établis solidement en façon de culées, reçurent les extrémités des poutrelles, qu'on ne fit porter que sur une longueur de 0m,080, pour laisser au vide du pont le plus de grandeur possible. Dès que le pont fut fixé de la sorte ses vibrations diminuèrent beaucoup, mais cependant ne cessèrent pas. Un

Digitized by Google

poids un peu considérable, placé au quart de la longueur du pont, occasionnait un abaissement sensible de ce côté, et un relèvement proportionné dans la partie correspondante de l'autre extrémité. Cela m'a démontré la nécessité de brider le pont à chaque bout, pour empêcher ce relèvement, d'où naissent les vibrations qui compromettent la solidité; ou de donner au tablier une force telle que ce danger ne soit plus à craindre. J'ai fait l'équivalent au pont-modèle; c'est-à-dire, que je l'ai bridé vers le quart de sa longueur par quatre fils attachés à de grands poids, et il a dès-lors acquis un degré de solidité rassurant. Une secousse lui imprimait encore des vibrations assez considérables; mais elles étaient d'autant moins fortes que le pont était plus chargé. Cette remarque m'a conduit à ne pas donner trop de légèreté au pont projeté. Il faut que son tablier présente un système capable de s'opposer en grande partie à la flexion et qui donne aux cordes une forte tension.

J'aurais pu donner à notre petit pont plus de stabilité en faisant ses poutrelles d'une seule pièce et plus fortes, mais alors je n'aurais pas pu m'apercevoir aussi bien de ce qui est à éviter dans ces sortes de constructions.

Je m'étais assuré que le pont-modèle pourrait porter une vingtaine de personnes à la fois sans danger; j'y en ai vu quinze, sans que le système changeât de forme et que le tablier prît une courbure sensible (1). Cette grande force ne peut être attribuée qu'aux vingt-quatre fils des cordes; car les longrines, composées de plusieurs pièces, fléchissaient, comme je l'ai déjà dit, sous le moindre poids.

---

(1) Il a été soumis à de rudes épreuves de la part de ceux qui sont venus le voir depuis; ils y ont fait des marches militaires, et des sauts à faire trembler la maison; le pont a toujours résisté.

Digitized by Google

CHAPITRE III. — Description du Pont.

§. 1.er — *Dimensions générales, maçonneries.*

L'espace à franchir est de 81m, 95 entre le bastion dit du *Pin* et la place d'armes opposée. L'intervalle est coupé en deux fossés inégaux par une contregarde (1) de 25m, 43 de largeur. Le grand fossé, celui du côté du bastion, est de 33m, 45, l'autre est de 23m, 07 (Voyez la planche 1.re) La pente, du terre-plein du bastion à celui de la place d'armes, est de 4 mètres; il a donc fallu creuser d'un côté et s'élever de l'autre pour établir les culées. Mais il n'a pas été possible de dépasser certaines limites sans enterrer le logement du portier. On a donc laissé au pont une pente de deux mètres de l'intérieur à l'extérieur. Il n'y a rien de bien fâcheux à cela, la symétrie seule dans la forme des cordes en sera légèrement altérée.

Tout l'espace a été partagé en deux parties égales par une pile intermédiaire établie sur le terre-plein de la contregarde; il en est résulté que les deux arches, si je puis donner ce nom aux deux parties du pont, ont eu chacune 40 m. de vide, de la culée à la pile intermédiaire.

Les culées et la pile ont été faites de 4 mètres de hauteur et de 3m, 80 de largeur, percées dans leur milieu d'une porte de 1m, 80 de large et de 3m, 10 de hauteur. Leur épaisseur n'est pas la même, parce qu'on n'a pas adopté le même système d'attache aux deux extrémités.

Culée intérieure. Du côté du bastion, il a fallu faire deux loges, pour le portier et un gendarme de service. Ces loges sont séparées par un passage de 6 mètres de longueur et 1m, 80 de

(1) Ouvrage de fortification.

Digitized by Google

largeur, recouvert d'une légère voûte en brique. Ce sont les piédroits de ce passage qui servent de culée; ils ont un mètre d'épaisseur à leurs extrémités formant pilastres, et seulement 0m,60 vers le milieu, afin d'agrandir les loges et le passage. Ainsi le passage offre, de chaque côté, une retraite de 0m,15 qui fixe la largeur à 2m,10 et donne la facilité d'ouvrir les portes intérieurement. La muraille de 0m,60 est toutefois terminée à sa partie supérieure par un encorbellement en arc surbaissé, de même épaisseur que les pilastres et s'appuyant sur eux. Par cet artifice, la maçonnerie de la culée offre à peu près la même résistance que si elle était pleine et d'un mètre d'épaisseur du haut en bas.

Les loges ont 3m,50 de vide dans la direction perpendiculaire au pont, et 4m,00 dans la direction parallèle. Les murs sont de 0m,50 d'épaisseur, renforcés d'un pilastre à l'angle extérieur; ils sont percés d'une fenêtre pour chaque loge du côté du fossé. La porte de chaque loge est ouverte sur le passage; et à côté de la porte est un guichet pour le péage. A l'extérieur, la partie centrale du bâtiment formant culée, s'élève au-dessus des deux aîles; on l'a terminée par deux frontons, et l'ensemble du bâtiment n'est point désagréable à la vue, quoiqu'il soit placé dans une coupûre profonde et que les loges ne s'élèvent qu'à la hauteur du parapet. Il est inutile de dire que tous les angles du passage sont en pierre de taille, et qu'on n'a rien négligé pour donner à la maçonnerie toute la solidité désirable.

On a ménagé, entre les terres du parapet et la maçonnerie, de petits passages qui préservent le bâtiment de l'humidité, et l'on a fait sous les terres du parapet, d'un côté, des latrines, et de l'autre un petit bûcher, où l'on arrive par ces passages.

Les barres auxquelles s'accrocheront les cordes de suspension et que j'appelle *barres d'arrêt*, sont scellées dans les fondations, du côté de la ville : elles ont 1m,00 de long, 50 millimètres de

Digitized by Google

hauteur et 35 millimètres de largeur ; elles sont placées de champ dans des entailles faites dans la partie supérieure d'une pierre de roche qui occupe toute la largeur du pilastre; une autre pierre, de même dimension et faisant socle à l'extérieur, recouvre la première et appuie sur les barres d'arrêt; ces deux pierres, entre lesquelles sont ainsi serrées les barres, sont arrêtées l'une à l'autre par deux crampons.

Pour que la pierre de dessus ne s'épaufre pas lorsque les barres auront à supporter la charge du pont, j'ai fait placer une bande de fer sur les barres, à l'affleurement de la pierre et logée dans un encastrement fait dans ce but.

Les barres d'arrêt sortent de 80 millimètres et sont légèrement recourbées en dessous pour faire crochet; elles sont au nombre de trois dans chaque pilastre, placées dans le milieu, à 20 centimètres l'une de l'autre, d'axe en axe. Au droit de ces barres sont pratiquées des rigoles dans la pierre de taille qui couronne le pilastre et que j'appelle le *coussinet*. C'est dans ces entailles ou rigoles que sont logées, les cordes qui viennent prendre leur attache aux crochets. Pareils coussinets sont sur la pile du milieu et sur la culée extérieure, partout où les cordes doivent s'appuyer. Ce sont des pierres de roche d'un mètre de longueur, 0m, 80 de largeur et 0,m45 d'épaisseur, placées de manière à occuper toute la largeur du pilastre. Les coussinets sont arrondis vers les angles dans les entailles ou rigoles, de manière que les cordes se plient suivant un arc de 50 millimètres de rayon; et cela suffit, d'après nos expériences, pour éviter la rupture des cordes. Les rigoles, entre les arêtes opposées des coussinets, ont un peu plus de profondeur afin que les cordes ne portent que sur ces arêtes arrondies comme il vient d'être dit. En cas qu'il y eut quelque frottement au point d'appui, j'ai fait garnir les entailles d'une lame de cuivre de deux millimètres d'épaisseur et forgée en gorge de poulie suivant la

Digitized by Google

forme de l'entaille. Ce moyen de supporter les faisceaux est le plus simple et le moins dispendieux, et c'est ce qui me l'a fait adopter. On verra avec le temps s'il a des inconvéniens.

— *Culée extérieure.* La culée extérieure n'a que 2 mètres d'épaisseur, parce qu'elle ne résiste point au tirage et ne fait que supporter le poids du pont, comme la pile intermédiaire, les faisceaux allant s'attacher à des tirans de fer, fixés dans un massif de maçonnerie, construit en terre derrière la culée. La porte de cette culée a, comme nous avons dit, 1^{m},80 de largeur; mais elle a un ébrasement intérieur et une feuillure de 0^{m},15 pour la porte qu'il a fallu mettre en cet endroit. Cet ébrasement est un mal, parce qu'il nous ôte la faculté d'encastrer l'extrémité du pont dans la maçonnerie, comme il est nécessaire de le faire pour donner au tablier toute la rigidité désirable.

Le pont n'ayant, en effet, que deux mètres de largeur, ses deux côtés aboutissent à des points dans l'intérieur de la porte sur lesquels ne repose aucune maçonnerie, et où par conséquent on ne peut les arrêter fortement. Cet inconvénient n'a pas lieu du côté de la ville où les pilastres n'étant écartés que de 1^{m},80 il y a, de chaque côté, 10 centimètres de prise dans le soubassement pour loger les extrémités des poutrelles latérales du pont. Cela montre qu'on doit avoir l'attention de faire le pont plus large que les portes qui y donnent entrée, pour être sûr d'avoir dans les piédroits de ces portes la prise convenable; et comme nous le verrons plus tard, il y a d'autres motifs qui se joignent au précédent pour donner au tablier du pont autant de largeur que possible.

Les pilastres ont un soubassement et sont couronnés de coussinets qui, à l'extérieur, sont en saillie de 10 centimètres sur le niveau du reste de la maçonnerie; l'arc qui lie les deux pilastres est accompagné d'une archivolte et d'une imposte de la plus grande simplicité. Une plinthe fait le tour de la culée et contribue autant à sa solidité qu'à la décoration La même chose a lieu sur

Digitized by Google

la culée intérieure et sur la pile. Des raisons de police ont engagé à accompagner la culée extérieure de deux murs en aîle, d'un mètre de longueur et un mètre d'épaisseur s'élevant autant que la culée.

Le massif de maçonnerie souterraine auquel sont fixés les tirans de fer inclinés qui servent d'attache aux faisceaux, cube environ 24 mètres. Il repose sur deux plaques carrées en fonte de fer chacune de 1m,30 de côté et 60 millimètres d'épaisseur, établies dans un plan perpendiculaire à la direction des tirans. D'une plaque à l'autre, la liaison est établie par des poutrelles de sapin noyées dans le mortier. Cette espèce de plate-forme repose sur un lit de maçonnerie; le centre des plaques est à 2m,00 de profondeur au-dessous du sol. La maçonnerie ayant une base assez étroite, se relargit par le haut et déborde les plaques des deux côtés, afin d'augmenter le volume de la partie résistante.

Les tirans traversent les plaques et sont arrêtés en dessous par de forts écrous; ils sont noyés dans la maçonnerie et c'est encore un mal, parce que si avec le temps il fallait en changer quelqu'un, on ne le pourrait pas; il faudra donc éviter cela une autre fois, et s'arranger de manière que les réparations soient possibles; or il n'est pas difficile de pratiquer, dans la maçonnerie, de petites loges pour les tirans. J'ai en ce point un peu trop visé à l'économie et à la simplicité.

Pile intermédiaire. La pile intermédiaire ressemble en tout à la culée extérieure, avec cette différence que sa porte n'a point d'ébrasement et qu'elle n'est pas accompagnée de murs en aîle qui seraient ici sans objet.

La pile étant construite sur le terre-plein de la contregarde; il n'a pas été possible de pousser jusqu'à elle les deux parties du pont, et c'est une des choses qui m'a le plus contrarié, parce qu'il était difficile de fixer d'une manière assez solide les extré-

Digitized by Google

mités du pont dans les petites culées auxiliaires qu'il a fallu construire; et parce que la suspension du pont, ne commençant qu'à une assez grande distance de la pile, la vibration des faisceaux dans cette partie était toujours plus grande qu'elle n'eût été plus près de la pile où il y a moins de fouettement. Cet inconvénient était plus grand du côté de l'extérieur, parce que le fossé étant moins large le pont finissait plus tôt. Je l'ai diminué autant que j'ai pu, en retirant la petite culée dans l'intérieur; mais les circonstances locales m'ont empêché d'établir l'égalité, et une des parties du pont est toujours restée de six mètres plus courte que l'autre. C'est encore là un inconvénient, non-seulement parce que la vibration des faisceaux doit être plus grande de ce côté, mais encore parce qu'il y a rupture d'équilibre entre les deux parties du pont. J'ai encore diminué ce dernier défaut en couvrant le petit pont d'un plancher plus pesant. Le parapet de la contregarde a été coupé comme l'indique le profil de la planche première, et cette coupûre sert d'avenue au pont de ce côté; de l'autre, il a fallu faire deux petits murs en aîles de quatre mètres de longueur.

§. 2. — *Moyens de suspension.*

Le pont est suspendu à six *cables* (1) en fils de fer dont les extrémités sont supportées par les coussinets des culées, et dont le milieu repose sur les coussinets de la pile intermédiaire. Ces cables sont chacun de 90 fils du n.° 14 de fabrique. Du côté de la ville, ils s'attachent à des tirans verticaux de 2^{m},60 de longueur, et du côté de la campagne à des tirans inclinés qui sortent de terre de 3^{m},50. Leurs longueurs sont fixées de ma-

(1) Ce mot est celui qui m'a paru le mieux adapté à la chose; on évite en s'en servant la confusion des idées; les mots de chaîne ou de corde n'eussent pas eu les mêmes avantages. J'emploie aussi quelquefois le mot de faisceau qui indique la manière dont le cable est formé.

Digitized by Google

nière à ce que la première paire (c'est-à-dire les faisceaux correspondans de droite et de gauche) descende jusqu'à la hauteur du garde-fou, et la troisième paire au niveau du tablier du pont; la deuxième doit rester intermédiaire. La flèche de courbure est alors de 3m,50 pour le cable intermédiaire.

Les trois cables d'un même côté sont, sur chaque culée et sur la pile, dans un même plan horizontal; mais à mesure qu'on se rapproche du point inférieur de leur courbure, ils sont plus près d'être situés dans le même plan vertical, ainsi que cela se voit dans la projection du pont. Cette disposition a bien moins pour objet de brider le pont par les côtés, comme on pourrait le croire au premier coup d'œil, que de faire porter le poids sur le milieu des pilastres. Pour placer les trois cables dans un même plan vertical, il faudrait : 1.° faire le pont assez large pour que ses têtes correspondissent au milieu des pilastres, 2.° pratiquer dans ces pilastres des entailles plus ou moins profondes, dans lesquelles on adapterait un support en fer ou en cuivre pour chaque cable. Il en résulterait peut-être un peu plus de stabilité, mais à coup sûr il y aurait plus de complication dans les moyens de suspension; or j'ai dû, dans un premier essai, chercher par dessus tout, les moyens les plus simples, quitte ensuite à corriger les défauts qu'on y aura reconnus. Je crois que ce que l'on peut faire de mieux, pour allier la stabilité à la simplicité, est de faire en sorte que les côtés du pont correspondent exactement au cable intermédiaire, de manière que les deux autres cables s'inclinent en sens opposés pour se trouver les uns au-dessus des autres dans le milieu de leur courbure. Nouvelle raison de donner au pont plus de largeur qu'aux portes des culées.

Quoiqu'il en soit, le cable intermédiaire, dans le pont dont j'entreprends la description, s'éloigne à son origine de 35 centimètres de la verticale qui passerait par le côté du pont; le cable le plus rapproché ne s'en éloigne que de 15 centimètres, et le plus éloigné s'en écarte jusqu'à 55.

Digitized by Google

Les cables sont composés de plusieurs parties, deux égales et très-longues entre les culées et la pile, trois inégales et beaucoup plus courtes reposant sur les coussinets. Ce dispositif a été adopté par deux raisons : la première, parcequ'il eut été difficile de trouver un local assez grand pour faire les cables d'un seul bout, et la seconde, pour faciliter les remplacemens dans le cas où les fils qui reposent sur les coussinets éprouveraient un frottement qui les userait à la longue. Alors au lieu de remplacer le cable en entier, on ne referait à neuf que la petite portion qui porte sur les coussinets. C'est en donnant aux attaches qui lient entr'elles les cinq parties d'un même cable, des longueurs différentes, qu'on est parvenu sans peine à faire descendre un de ces cables plus que l'autre et de quantités mathématiquement déterminées.

Bobines, écheveaux et sellettes.

Le moyen que j'ai employé, pour réunir les différentes parties d'un même cable, est le suivant : deux bobines A et B (Planche 2.e fig. 1.re), d'une longueur suffisante pour recevoir tous les fils qui doivent reposer sur elles, et terminées par des oreilles qui empêchent les fils d'échapper, passent dans les boucles des cables C et D, et sont retenues par deux *écheveaux* E qui embrassent leurs extrémités. Ces écheveaux sont faciles à faire à la longueur qu'on juge convenable, et par là, on peut donner à un cable tel degré de tension qui peut paraître nécessaire; il n'y a qu'à se ménager une distance convenable entre les points A et B.

On a vu dans les expériences citées au chapitre II, qu'une boucle en fil de fer, de la grosseur des nôtres, ne court aucun risque de se rompre quand elle passe sur une barre de 40 millimètres de diamètre; donnant donc aux bobines 45 millimètres

Digitized by Google

de grosseur, il y a parfaite sûreté sur ce point. Quant à leur longueur elle a été fixée à 116 millimètres entre les oreilles.

La figure 2.e donne la forme et les dimensions des bobines qui ont été faites en fonte de deuxième fusion de Zurich. On les a évidées dans le milieu pour diminuer le poids sans diminuer beaucoup la force, sachant bien qu'un cylindre creux a plus de force, à volume égal, qu'un cylindre plein. Mais on n'y a rien gagné sous le point de vue de l'économie, parce que la difficulté du moulage d'un cylindre creux de petit diamètre, augmente le prix de la fonte. Il faudrait que les bobines fussent notablement plus grosses, pour qu'il y eut réellement quelque avantage à les faire creuses.

Pour que les fils des faisceaux ne fissent pas un pli trop prononcé à l'endroit où ils passent dans les boucles des tirans, je les ai fait porter sur une *sellette* ou demi-anneau en fonte de cuivre. On eût pu la faire également en fonte de Zurich.

J'ai donné à la sellette la forme d'un demi-anneau pour pouvoir la faire entrer dans le crochet du tirant sans être obligé d'ouvrir celui-ci au-delà de deux centimètres, quantité nécessaire pour le passage des fils de fer composant la boucle du faisceau. Cela m'a permis de fermer le crochet à froid avec le secours d'un étau et de l'arrêter ensuite par une frette; il y aurait eu beaucoup d'embarras s'il eu fallu employer le feu pour cela, et l'on eut couru le risque d'affaiblir le fil de fer en le chauffant.

Voici les dimensions des sellettes, figure 3.e et leur perspective dans les figures 4.e et 5.e, la dernière montrant la sellette passée dans l'anneau de la barre.

Faisceaux suspenseurs.

Le pont est suspendu aux cables par des faisceaux plus petits qui, d'une part, s'attachent aux traverses du pont, et de l'autre, aux cables, de la manière suivante : le premier faisceau suspen-

Digitized by Google

seur sera porté par le premier cable, le deuxième par le cable intermédiaire, le troisième par le cable inférieur; le quatrième prendra de nouveau au premier cable, et ainsi de suite alternativement d'un cable à l'autre. Les faisceaux suspenseurs sont composés de 12 fils, et ils sont à la distance de 1^{m}, 30 les uns des autres. Par leur extrémité inférieure ils embrassent le bout des traverses du pont et les supportent au moyen d'une simple boucle qui passe dans une entaille arrondie aux angles. Cette boucle est serrée par une ligature de manière à ce que la traverse ne puisse point s'échapper. Ce moyen de porter les traverses est sans doute le plus simple de tous ceux qu'on peut imaginer; mais peut-être vaudrait-il mieux boulonner un crochet sur chaque traverse, et faire passer la boucle du faisceau suspenseur dans ce crochet, parce qu'ainsi les fils seraient sous l'œil de l'inspecteur du pont, et ne pourraient pas s'altérer sans qu'on le vît; mais il y aurait une augmentation de dépense, et c'est ce qui m'a retenu. J'espère, d'ailleurs, que les fils étant bien vernis ne se rouilleront pas plus sous les traverses que partout ailleurs; et, au surplus, on sera toujours à temps de faire ce que je viens d'indiquer.

Par le haut, les fils du faisceau suspenseur ne font que passer sur les cables, où ils sont arrêtés par un bourrelet qui les empêche de glisser. Ce bourrelet est tout simplement fait avec un fil recuit n.° 9 ou 10, auquel on fait faire une quinzaine de tours jointifs sur le cable. La boucle du faisceau suspenseur est ensuite serrée par une ligature, au-dessous du cable, pour empêcher le jeu dans le sens vertical.

Les douze fils qui composent un faisceau forment ainsi comme une corde sans fin : ils sont serrés les uns contre les autres par un fil recuit, roulé en spirale d'un bout à l'autre du faisceau; et cela suffit, conjointement avec les deux ligatures dont on a parlé.

Digitized by Google

pour empêcher les extrémités du fil de sortir de l'entaille de la traverse, et le faisceau de se défaire.

Brides. Je range dans les moyens de suspension les brides inférieures destinées à donner au tablier du pont un degré de tension qu'il n'aurait pas sans elles. Ces brides sont placées à chaque extrémité du pont entre le tiers et le quart de sa longueur : par en bas elles sont arrêtées à de forts crampons scellés dans le mur, et par le haut elles ont une boucle dans laquelle passe un boulon horizontal arrêté dans deux bandes de fer qui embrassent elles-mêmes les pièces latérales du pont. Ces bandes sont placées dans la direction des brides, et sont fixées aux pièces de bord par deux boulons.

La tête des crampons scellés dans la muraille est en forme de T (fig. 6) de manière à pouvoir employer le système des bobinès et des écheveaux pour donner à la bride une longueur convenable. La barre du T a pour cela les mêmes dimensions que la bobine, et ses extrémités portent comme elles des oreilles pour retenir les fils de la boucle. On verra plus loin que ce système d'attache projeté a subi un léger changement dans l'exécution.

Les brides, sont ainsi que nous l'avons dit, principalement destinées à empêcher le mouvement dans le sens vertical; les oscillations horizontales étant beaucoup moins sensibles que les vibrations verticales. Cependant les brides divergent par le bas, pour s'opposer, en même temps, aux vibrations horizontales autant que cela est possible. Leur écartement, par le côté, n'est que de 1m, 50 pour chacune d'elles. Il y a 32 fils dans chaque bride, du même numéro que pour les cables et les faisceaux suspenseurs, c'est-à-dire, du n.° 14 de fabrique; ils sont rangés parallèlement et entourés d'un fil spiral.

§. 3 *Charpente.*

Le pont, proprement dit, a deux mètres de largeur, il est

Digitized by Google

muni de deux garde-foux en fer indépendans du système de suspension. Le pont d'essai m'ayant convaincu, qu'il fallait donner à la charpente autant de solidité que possible pour diminuer les vibrations, je l'ai composée de cinq poutrelles longitudinales boulonnées sur les traverses (Voyez les figures 7.e et 8.e qui représentent les deux coupes du pont). Les poutrelles des bords sont redoublées par des pièces qui prennent en dessous toutes les traverses, et servent à les contrebutter. A cet effet, les poutrelles inférieures sont entaillées au tiers à peu près de leur épaisseur, pour recevoir les traverses; ce qui ne les affaiblit pas, parce que, si le pont vient à fléchir, elles pincent les traverses, et servent en même temps d'appui à celles-ci. On connaît cette expérience de Peyronnet par laquelle il a prouvé que si l'on scie en travers une pièce de bois, jusqu'au milieu de son épaisseur, et que l'on mette dans le trait de scie une lame métallique, la force de la pièce de bois, loin d'être diminuée par cette coupure, est augmentée.

Les traverses sont espacées de 1m,30, de milieu en milieu; leur équarrissage est de 14 centimètres sur 11 centimètres; elles ont une longueur totale de 2m,26 et par conséquent elles débordent les côtés du pont de 13 centimètres. C'est à ces bouts et en dessous qu'on a pratiqué des entailles pour recevoir les fils des faisceaux suspenseurs; ces entailles sont de trois centimètres de largeur et d'autant de profondeur sur les angles de la traverse, se réduisant à rien vers le milieu; elles sont faites à cinq centimètres du bout, et le bois restant est assez fort pour ne pas craindre que le tirage oblique des fils puisse l'arracher.

Les poutrelles ont 15 centimètres sur 11 d'équarrissage; et les pièces entaillées, jumelles aux poutrelles du bord, ont 17 sur 11. Les unes et les autres courent d'une extrémité à l'autre du pont, assemblées par bout et à trait de jupiter; elles sont alternativement de quatre et de trois pièces dans le grand pont, de trois et de deux dans le petit, de telle sorte que les joints se recroisent, ce qui n'est pas indifférent pour la solidité.

Digitized by Google

Tous ces bois sont en mélèze, et travaillés avec le plus grand soin; c'est plutôt de la menuiserie que de la charpente. Le trait de Jupiter, employé par le maître-constructeur, M. Messaz, mérite l'attention des Ingénieurs; il est à double tenon et résiste dans les deux sens, sans qu'il soit nécessaire de le boulonner. Une bonne clef en bois dur, chassée au marteau, fait la solidité de l'assemblage que les figures 9.e et 10.e feront mieux connaître qu'une plus ample description. La première donne la projection, et la seconde la perspective de l'assemblage.

Les poutrelles intermédiaires sont fixées sur les traverses par de petits boulons de huit millimètres de grosseur, mais les poutrelles extrêmes sont réunies aux pièces entaillées et aux mêmes traverses par les montans du garde-fou qui sont taraudés à leur partie inférieure pour recevoir un écrou.

Le plancher est en sapin pour le grand pont, et en mélèze pour le petit; les planches ont quatre centimètres d'épaisseur; il eut mieux valu prendre de petits plateaux de 5 ou 6 centimètres. J'ai mis du mélèze sur le petit pont et du sapin sur le grand pour essayer si l'un dure plus que l'autre comme marche-pied, et ensuite pour équilibrer autant que possible les deux ponts, le rapport des pesanteurs spécifiques du mélèze et du sapin étant à peu près celui de 3 à 2.

Les planches débordent de 2,5 centimètres, de chaque côté, les poutrelles de bord, en sorte que leur longueur totale est de 2m,05. Quant à leur largeur, elle est variable; on ne s'est astreint qu'à faire correspondre le milieu d'une planche sur le milieu d'une traverse, afin de garantir celle-ci des attaques de l'eau.

§. 4. — *Garde-fou.*

Le garde-fou a 1m, 05 de hauteur depuis le plancher; il est

Digitized by Google

composé de montans faisant fonction de boulons d'assemblage, d'une main courante et de deux lisses, le tout en fer d'Angleterre. Les montans et la main courante sont en fer cylindrique de 20 millimètres de grosseur; les lisses sont en petites barres plates de 20 millimètres de largeur et de 5 millimètres d'épaisseur.

Les montans sont retenus sur le plancher par une embase, et un simple piton légèrement rivé les joint à la main courante. Les lisses traversent les montans et ne sont pas autrement retenues.

La main courante et les lisses sont d'une seule pièce, d'un bout à l'autre de chaque pont; elles ont été faites de plusieurs parties soudées à chaud les unes aux autres.

Les montans extrêmes, qui reçoivent les bouts de la main courante et des lisses, sont plus forts que les autres; ils ont 28 millimètres de diamètre. On les a couronnés de boules de cuivre pour l'ornement. C'est le seul luxe que je me sois permis dans toute la construction. Du côté des maçonneries, ces boules sont remplacées par des manchons dans lesquels le bout de la main courante a la faculté de bouger, sans cesser d'être retenu; précaution nécessaire dans le cas où le pont aurait de fortes secousses à éprouver, ou serait soumis à de grandes variations de température. Dans la même intention on a laissé deux centimètres de jeu aux lisses: une simple coupille, placée à cette distance du montant, empêche la lisse de sortir de sa mortaise. Du reste, les lisses ont assez de liberté dans les mortaises des autres montans pour que les mouvemens possibles du pont ne leur fassent pas subir des contractions ou des extensions nuisibles.

Le garde-fou, si léger qu'il paraisse, a cependant une force suffisante; ses montans, éloignés de 15 à 20 centimètres des faisceaux suspenseurs qui leur correspondent, servent à les garantir contre l'atteinte des pieds des passans.

C'est un inconvénient de la disposition adoptée, que pour

Digitized by Google

changer les plateaux correspondans aux montans, il faille enlever le garde-fou, ou remettre d'autres plateaux entaillés à leurs extrémités, ce qui serait tout au moins désagréable à la vue. J'aurais pu éviter cet inconvénient, en faisant reposer l'extrémité des plateaux dans une battue des poutrelles extrêmes, de telle sorte que le dessus des plateaux eût été arrasé avec le dessus des poutrelles, et que les montans du garde-fou eussent été en dehors des extrémités des plateaux. Mais par cette disposition, on favorisait le séjour de l'eau entre les poutrelles et les plateaux, et l'on s'exposait au danger de la pourriture. Au reste, pour faciliter le levage des montans, j'ai fait leurs rivures dans la main courante très-légères, en sorte qu'on peut les disjoindre sans beaucoup d'effort, et les remettre ensuite en faisant une autre rivure.

Digitized by Google

CHAPITRE IV. — Calculs du pont.

§. 1.er — *Poids du Pont.*

Pour vérifier si les faisceaux, les tirans de fer et les différentes parties qui ont à supporter le poids du pont, ont une force suffisante, il faut évaluer ce poids : or il se compose, 1.° du poids des cables et des faisceaux suspenseurs, 2.° de celui de la charpente et du garde-fou, 3.° de celui d'un certain nombre de personnes qui peuvent se trouver à la fois sur le pont, ou pour mieux dire sur une des moitiés du pont ; car nous ne ferons les calculs que pour cette moitié, les mêmes calculs devant se répéter pour l'autre. Supposant donc que chaque traverse du pont ait à porter six personnes à la fois, cela fera 156 ou si l'on veut 160 personnes pour le grand pont qui a 26 traverses; c'est une véritable foule, bien que le pont puisse recevoir plus de monde encore; mais telle qu'il n'y en aura sans doute jamais. Estimant le poids moyen de ces personnes à 65 kilogrammes, cela fera pour la totalité 10 430, ou en compte rond 10 500 kilogr.

Voilà un des élémens du poids. Pour avoir le second nous cuberons les bois.

Bois de mélèze.	5 poutrelles.	longueur	34m,00	2,805.
		largeur ensemble	0,55	
		hauteur	0,15	
	2 pièces entaillées infér.	longueur	34,00	1,272.
		largeur ensemble	0,22	
		hauteur	0,17	
	25 traverses de 2m,26.	longueur ensemb.	56,50	0,870.
		largeur	0,11	
		hauteur	0,14	

Total du bois de mélèze, ... 4,947.

Digitized by Google

5 mètres cubes en compte rond de bois de mélèze, pesant au plus 900 kil. le mètre cube, donnent un poids de. . . . 4 500

Platelage en sapin.

Longueur	34m,00	2,788 mètr. cubes à 550 kil. le mètre. . 1 533
Largeur	2,05	
Epaisseur	0,04	

Les barrières ont été pesées d'avance; elles montent à . . 1 020
Clous et boulons, ... 147

TOTAL. . . . 7200

Pour calculer le troisième élément du poids, nous déterminerons la longueur du faisceau intermédiaire, soit par l'équation de la chaînette comme nous verrons plus tard, soit par l'arc de cercle qui la remplace dans le profil et qui n'en diffère que de très-peu de chose; nous la trouverons de 40m,90, en nous rappelant que la distance entre les deux points de suspension est de 40m,00 et que la flèche de courbure est de 3m,50.

Chaque cable est de 90 fils; il y en a six, cela fait 540 fils de 41 mètres de longueur et de 2,1 millimètres de grosseur (c'est le n.° 14 de fabrique). Nous avons en outre 50 faisceaux suspenseurs de douze fils, de deux mètres en longueur moyenne et de même grosseur que les premiers. Le développement total de tous ces fils est donc de 23 340 que je porte à 24 000 mètres pour avoir égard à toutes les ligatures.

Ces 24 000 mètres d'un fil dont la section est de 3,464 millimètres carrés (voyez le *Tableau des expériences sur le fil de fer*), font un volume de 0,083 mètres cubes. Or, le poids du mètre cube de fer forgé est de 7800 kil.; nos fils pèseront donc ensemble 647 kil.; ajoutons-y le poids des bobines qui est d'environ un kilogramme par bobine, et nous aurons 700 kilogrammes.

Réunissant donc, on trouvera pour le poids total 18 500 kilogrammes.

Digitized by Google

Savoir :	Poids de 160 personnes	10 500 kil.
	Id. du pont	7200
	Id. des chaînes et faisceaux	700
	Poids imprévus	100
	Total	18 500

§. 2. — *Force des cables.*

Le poids total réparti sur les six cables étant ainsi connu, il faut voir si ces cables peuvent le supporter.

Or, on sait que pour évaluer, dans la chaînette, la tension aux points d'attache A et B, fig. 11.ᵉ où elle est à son maximum, on peut supposer tout le poids P réuni au point de rencontre C des deux tengentes extrêmes; et il ne reste plus qu'à trouver la composante de ce poids suivant la direction de chaque tangente. Nous ferons ce calcul dans la supposition que les deux points de suspension sont sur la même horizontale et font avec cette ligne des angles égaux. Cela n'est pas parfaitement exact, mais le calcul étant appliqué au point le plus haut donnera le maximum de tension, car la tension en chaque point d'une corde pesante varie comme la sécante de l'inclinaison de la courbe sur la ligne horizontale ; et cette inclinaison est d'autant plus grande qu'on s'élève d'avantage au-dessus du point inférieur de la courbe où la tension est à son minimum.

Au reste, le pont une fois suspendu, la courbe se change en un véritable polygone funiculaire ; en sorte que les conditions d'équilibre se trouvent un peu changées ; on ne doit donc considérer le calcul que comme un moyen d'évaluer, par approximation, les tensions aux points extrêmes. Mais l'exactitude rigoureuse n'est pas non plus nécessaire en pratique.

L'angle BAC que fait, dans le cas actuel, la tangente à la courbe avec l'horizontale, est de 19°. On le détermine par une

Digitized by Google

construction exacte de la figure, ou par un calcul trigonométique que nous indiquerons plus tard. Ainsi on a pour la composante de P parallèle à CA, R étant le rayon des tables et α l'angle BAC; on a, dis-je:

$$P \times \frac{R}{2 \sin \alpha}$$

et dans le cas actuel, cette composante devient:

$$18500 \times \frac{R}{2 \sin 19} = 27770.$$

Chaque cable a donc à résister à une tension de 4 628,33 kil. que je porte à 5 000 pour être encore plus sûr du résultat.

Mais ce cable est composé de 90 fils du n.° 14 dont la force absolue est de 209 kil. (Voyez le *Tableau des expériences*); la réduisant à 200, le faisceau pourra résister à une tension de 18 000 kilogrammes. C'est plus de *trois fois et demi*, ce qui est nécessaire.

Les écheveaux qui servent à lier entr'elles les différentes parties d'un même cable, par le moyen des bobines d'assemblage, ont chacun cinquante fils; et comme ils sont par couples, il y a cent fils à chaque attache pour résister à la tension; l'excédent de force est donc encore plus grand que dans le reste du cable; et cela m'a paru nécessaire, parce qu'il peut arriver que, par une cause quelconque, un des écheveaux ait à supporter plus que l'autre; peut-être même eussé-je dû leur donner un excédent de force plus considérable.

Les faisceaux suspenseurs sont au nombre de 50, à 12 fils chacun. Cela fait 600 fils, qui peuvent supporter 120 000 kil. C'est plus de *six fois* le poids total du pont et des passagers.

§. 3.—*Force des bobines.*

Pour calculer la force des bobines, je me sers de la formule suivante:

$$P = 100 \frac{R^2 - r^2}{C} R,$$

Digitized by Google

dans laquelle P est le poids, en kilogrammes, qu'un cylindre creux peut supporter dans son milieu; R et r sont, en millimètres, les rayons extérieur et intérieur du même cylindre, et c sa longueur (voyez la *Note à la fin du Mémoire*).

Dans nos bobines, on a $R=22,5$, $r=9$ et $c=100$; cette dernière longueur n'est pas la longueur même de la bobine, elle est prise du milieu de la partie recouverte par un écheveau au milieu de la partie recouverte par l'autre, parce que c'est en ces points milieux qu'on peut considérer la résistance comme concentrée. Mettant ces valeurs dans la formule, on trouve $P=9\,568$, et si l'on réfléchit qu'entre les points d'appui, l'effort est réparti sur toute la longueur du cylindre, au lieu d'être concentré au milieu, on verra qu'on doit doubler ce nombre pour avoir le poids qui ferait rompre le cylindre, car on sait que sa force est double dans un cas de ce qu'elle est dans l'autre. Mais je réduis cette force à 15 000 kil. pour avoir égard aux dérangemens possibles des fils sur les bobines; et il en résulte que ces bobines ont une force *au moins triple* de celle qui leur est nécessaire dans le cas le plus désavantageux.

§. 4. *Force des barres d'arrêt.*

Les barres d'arrêt scellées dans les fondations de la culée intérieure ont, comme on a vu, 50 millimètres de hauteur et 35 d'épaisseur; leur longueur, depuis le parement de la pierre de taille jusqu'au point d'application de la puissance qui tend à les rompre, est au plus de 50 millimètres.

La formule qui en fait connaître la force est la suivante:

$$P=9,5.\frac{ab^2}{c}$$

dans laquelle P est le poids que peut supporter à une de ses extrémités un prisme de fer forgé, lorsqu'il est fortement arrêté par l'autre; a est la dimension horizontale, l'épaisseur du prisme

Digitized by Google

exprimée en millimètres; b sa dimension verticale ou sa hauteur; et c sa longueur depuis le point d'appui au point d'application de la puissance : ainsi $a=35$, $b=50$, et $c=50$. On a donc en substituant : $P = 16,625$.

C'est encore *plus du triple* de ce qu'il faut, même en supposant que la roideur et le frottement des chaînons sur les coussinets n'aient aucun effet en faveur de la résistance.

La formule précédente est déduite de celle qu'on trouve dans le grand ouvrage de la construction des ponts de Gauthey, pour évaluer la force d'un prisme de fonte ordinaire. On a simplement triplé le coefficient, en admettant, d'après quelques expériences des physiciens, que le fer forgé ait trois fois autant de force à la rupture que le fer de fonte ordinaire.

§ 5 — *Force des tirans.*

Les tirans en fer forgé ont une section de 1 000 millimètres carrés. Chaque millimètre peut, comme on sait, porter 35 kilogrammes au moins; cela fait donc 35 000 kilogrammes. C'est *sept fois* le nécessaire.

§. 6. — *Force des culées.*

La culée vers la ville résiste par le poids de 40 mètres cubes de maçonnerie, joint à celui des couvertures, par le poids même du pont qui ajoute à la stabilité, et par les liaisons avec les murs des loges. Le mètre cube pèse 2 300 kilogrammes : les quarante pèseront donc ensemble 92 000. Ajoutons-y la moitié du poids du pont, soit 9 250, et 750 pour celui des couvertures; nous aurons 102 000 kilogrammes.

Le bras de levier de la résistance est de 3 mètres, puisque la culée en a 6 en longueur; ainsi le moment de la résistance est de 306 000. Le moment de la puissance s'obtient, en multipliant la

Digitized by Google

composante horizontale de la tension qui est $\frac{30\,000.\cos 19^\circ}{R} =$ 28360, par le bras de levier qui est de 4 mètres, hauteur de la culée : ce moment est donc 113440. Le premier est environ *triple du second* : on peut donc encore être tranquille sur ce point, d'autant plus que nous n'avons pas fait entrer dans le calcul ce que peut ajouter à la force de résistance la liaison des murs des loges avec la culée (1).

Du côté de la campagne, c'est un massif qui s'oppose à l'arrachement; il est composé 1.° de 24 mètres cubes de maçonnerie, 2.° de deux plaques de fonte et six tirans, pesant ensemble 1600 kilogrammes, 3.° d'une couche de terre végétale de 5 mètres cubes. Les 24 mètres cubes de maçonnerie pèsent 55 200 kilogrammes, à raison de 2300 par mètre cube, et les 5 mètres cubes de terre pèsent 7500, à 1500 le mètre; ajoutant, on a 64300 kilogrammes. Telle est la force de résistance, non compris le frottement des faisceaux sur les coussinets, et leur roideur, qui sont en sa faveur. La résistance est donc *plus du double* de la puissance, cette dernière n'étant, comme on se rappelle, que de 30000 kilogrammes au plus.

On voit, d'après ce qui précède, que la nouvelle construction offre, à tous égards, une grande solidité. Et si l'on fait attention à toutes les circonstances physiques qui ajoutent à la résistance des culées, on sera convaincu que les résultats du calcul sont encore de beaucoup au-dessous de la réalité, et qu'il n'est aucune des parties du pont qui n'ait une force au moins triple de celle qui est nécessaire dans la supposition d'un grand concours de monde sur le pont.

---

(1) Nous avons adopté l'hypothèse de La Hire pour calculer la force de la culée, parce que, malgré ses inexactitudes, elle est la plus commode, et conduit à des résultats en faveur de la solidité.

Digitized by Google

§. 7. — *Force des bois.*

Quant à la charpente, soutenue comme elle l'est en vingt-sept endroits, elle a un tel excédent de force qu'il est complètement inutile de la calculer. Pourquoi donc faire cette charpente aussi forte? Uniquement pour donner du poids au pont, et augmenter la durée des bois.

Si toutefois quelqu'un voulait faire ces calculs, la formule suivante lui en faciliterait les moyens; elle donne la force du bois de chêne à la flexion, et elle peut s'appliquer au mélèze, qui ne le cède guère au chêne, d'autant mieux que j'ai fixé son coefficient numérique, de manière à rester plutôt au-dessous qu'au-dessus de ce que donnent les formules analogues qu'on rencontre dans les ouvrages des ingénieurs, et en particulier dans la construction des ponts par Gauthey, notes de Navier.

$$P = 1\,500\,000.\ \frac{ab^2}{c}$$

P est en kilogrammes le poids que peut supporter la pièce, dans son milieu, sans que son élasticité en soit altérée; a est la largeur de la pièce, ou sa dimension horizontale; b sa hauteur ou sa dimension verticale, et c sa longueur, toutes les mesures étant données en mètres et fractions du mètre.

Il faut savoir en outre que les résistances des solides supportés en plusieurs points, sont en raison directe des carrés des nombres de leurs points d'appui, diminués d'une unité. Ensorte qu'après avoir calculé, par la formule précédente, la force d'une pièce posant sur ses deux extrémités, on pourra apprécier la force de celle qui sera soutenue dans l'intervalle.

Digitized by Google

CHAPITRE V. — Application de quelques formules au calcul des ponts suspendus.

§. 1.er — *Longueur des cables.*

Nous avons avancé, dans le chapitre précédent, que la longueur des cables intermédiaires est de $40^m,90$, et leur flèche de courbure de $3^m,50$. Il faut maintenant indiquer comment se fait le calcul pour trouver ces longueurs : on a recours, pour cela, à l'équation de la courbe qu'affecte une corde pesante, suspendue à deux points fixes ; elle est en quantités finies :

$$x = \frac{A \cos \alpha}{p} \log \left(\frac{A - py \mp \sqrt{(A - py)^2 - A^2 \cos^2 \alpha}}{A(1 - \sin \alpha)} \right)$$

Dans cette équation, A exprime la tension de la corde au point de suspension O (fig. 12.e) qui est pris pour origine des coordonnées ; α est l'angle que fait la tangente extrême OT avec l'axe des abscisses OX, qui est horizontal ; p est le poids de l'unité de longueur de la corde ; enfin le logarithme est népérien. Voyez la mécanique de Poisson.

La première chose à faire pour l'application, est de convertir le logarithme népérien en un logarithme tabulaire, en mettant à sa place le dernier multiplié par 2,3026 ; car on a log. a = 2,3026 Log. a ; Log. indiquant le logarithme tabulaire, et log. le logarithme népérien. L'équation ainsi préparée devient :

$$x = 2{,}3026 . \frac{A \cos \alpha}{p} \text{Log} \left(\frac{A - py \mp \sqrt{(A - py)^2 - A^2 \cos^2 \alpha}}{A(1 - \sin \alpha)} \right) \quad (1)$$

On a pour l'ordonnée du point inférieur M de la courbe, ou en d'autres termes, pour la flèche de courbure que je représente par f, la relation suivante

$$f = \frac{A(1 - \cos \alpha)}{p} \quad (2)$$

Digitized by Google

On a aussi, en appelant d la distance des points de suspension O et O'

$$\tfrac{1}{2}\,d = 2{,}3026.\ \frac{A\cos\alpha}{p}\ \mathrm{Log.}\left(\frac{\cos\alpha}{1-\sin\alpha}\right) \qquad (3).$$

Quant à la longueur de la demi-corde OM que je désigne par $\frac{1}{2}$ S, on a l'équation

$$\tfrac{1}{2}\,S = \frac{A\sin\alpha}{p} \qquad (4).$$

Enfin, en éliminant A entre les équations (2) et (4), on a pour relation entre la demi-longueur de corde et la flèche

$$f = \tfrac{1}{2}\,S\left(\frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha}\right) \qquad (5).$$

La seule manière commode de faire usage de ces formules, est de se donner l'angle α; et nous verrons plus loin comment on le détermine de manière à satisfaire aux conditions voulues.

Supposons pour exemple que l'angle α soit de 18°, c'est l'angle qui rend la flèche de courbure PM égale environ au douzième de la distance OO' entre les points de suspension. Supposons de plus que la distance OO' soit de deux cents mètres, ou que $d=200$; et enfin que le mètre de corde pèse un kilogramme, ou que $p=1$. On aura, en prenant le rayon pour unité :

$\sin 18° = 0{,}3090$, $\cos 18° = 0{,}9511$, $1 - \sin 18° = 0{,}6910$, $1 - \cos 18° = 0{,}0489$.

Substituant ces valeurs dans l'équation (3), on a d'abord, pour déterminer la tension A

$$100 = 2{,}3026\ .\ 0{,}9511.\ \mathrm{Log.}\left(\frac{9511}{6910}\right) \times A.$$

d'où $\qquad A = 329{,}218.$

La tension étant connue, les équations (2) et (4) donneront la flèche et la longueur de la corde

$$f = 16^{m},10 \qquad \text{et} \qquad S = 203^{m},46.$$

Digitized by Google

Si l'on suppose que le mètre de corde pèse dix kilogrammes au lieu de n'en peser qu'un seul, on aura $p = 10$. Alors la tension seule variera et deviendra décuple; mais la corde et la flèche conserveront les mêmes longueurs, parce que A croit proportionnellement à p; ainsi donc, ces deux quantités sont indépendantes du poids de la corde.

Mais, de plus, en mettant dans l'équation de la courbe, au lieu de A, sa valeur $\frac{pS}{2 \sin \alpha}$ tirée de l'équation (4), ou $\frac{pf}{1 - \cos \alpha}$ tirée de l'équation (2), le résultat sera indépendant de p, donc : *deux cordes de même longueur, quoique de poids différens, affecteront la même courbure en les suspendant aux mêmes points.* C'est d'ailleurs une conséquence nécessaire de ce que les longueurs des courbes sont les mêmes, et les tangentes aux points O, O' et M, communes.

D'après ces considérations, nous simplifierons un peu nos cinq équations, en y mettant mp au lieu de A; m étant le nombre par lequel il faut multiplier le poids du mètre de corde pour avoir la tension à l'origine de la courbe; l'équation (3) le détermine. Cette substitution donne :

$$x = 2{,}3026.\ m \cos \alpha \ \mathrm{Log}\left(\frac{(m-y) \mp \sqrt{(m-y)^2 - (m \cos \alpha)^2}}{m\,(1 - \sin \alpha)}\right) \quad \text{(A)}.$$

$$d = 4{,}6052.\ m \cos \alpha \ \mathrm{Log}\left(\frac{\cos \alpha}{1 - \sin \alpha}\right) \quad \text{(B)}.$$

$$f = m\,(1 - \cos \alpha) \quad \text{(C)}.$$

$$S = 2\,m \sin \alpha \quad \text{(D)}.$$

$$f = \tfrac{1}{2} S \left(\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}\right) \quad \text{(E)}.$$

L'équation (B) donnera m, au moyen de la distance d des deux points de suspension, et de l'angle α que fait avec l'horizontale la tangente à l'origine de la courbe. La quantité m étant

Digitized by Google

connue, on aura la tension, en multipliant m par le poids du mètre de corde; et les équations (C) et (D) donneront la flèche f et la longueur de corde S.

Quant à l'emploi de l'équation (A), il faut se donner l'ordonnée y pour calculer l'abscisse x, parce que la première entrant dans le logarithme, on n'en tirerait pas facilement la valeur. La quantité soumise au radical est facile à calculer, parce qu'elle est la différence des deux quantités $m - y$ et $m \cos \alpha$, qu'il a fallu préalablement déterminer.

On pourra, au moyen de ces formules, s'assurer que plus la flèche de courbure est petite, et plus les variations dans la longueur de la corde ont d'influence sur la longueur de la flèche, à tel point que si cette dernière est le vingtième de la distance entre les points de suspension, un allongement dans la corde d'un deux centième de cette distance, produit sur la flèche un allongement presque triple. En sorte que s'il y a quelque chose à gagner sous le point de vue de la stabilité à donner aux cables d'un pont une faible courbure, on s'expose davantage à voir le tablier s'abaisser ou s'élever par les variations de la température, en même temps qu'on est obligé de donner aux culées une plus grande force. Il faudra donc savoir se tenir dans un juste milieu.

§. 2. — *Quelques lignes du cercle.*

Dans l'épure des ponts suspendus, on peut remplacer la chaînette par l'arc de cercle qui aurait les mêmes tangentes extrêmes, attendu que ces deux courbes ne diffèrent pas beaucoup quand la flèche ne dépasse pas le dixième de la distance des points d'appui. C'est ce que nous montrerons plus loin.

Or, en désignant toujours par f la flèche CD (figure 13.e) par d la corde AB, et par R le rayon AO du cercle, on a, pour déterminer le point inférieur de l'arc :

Digitized by Google

$$f = R\left(1 - \sqrt{1 - \frac{d^2}{4R^2}}\right) \qquad (\alpha).$$

car $CD = OD - OC = R - \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}} = R\left(1 - \sqrt{1 - \frac{d^2}{4R^2}}\right)$

On a aussi le rayon en fonction de la flèche et de la corde, en tirant de l'équation précédente la valeur de R :

$$R = \frac{d^2 + 4f^2}{8f} \qquad (\beta)$$

Cette formule servira à trouver sans tâtonnement l'ouverture de compas avec laquelle on doit tracer un arc qui ait une flèche déterminée, ce qui est le cas ordinaire de l'épure.

Quant à l'angle α, on le calculera par la formule

$$\text{tang}\,\alpha = \frac{d}{\sqrt{(2R+d)(2R-d)}} \qquad (\gamma)$$

Cette valeur se trouve par la proportion, $\text{tang}\,\alpha : 1 = CE : CA$; d'où $\text{tang}\,\alpha = \frac{CE}{CA} = \frac{CA}{CO}$; mettant au lieu de CA et de CO leurs valeurs $\frac{1}{2}d$ et $\sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}}$, on a, toute réduction faite, l'équation (γ).

C'est au moyen de cette formule que l'on déterminera l'angle α, dont la connoissance est nécessaire pour le calcul de la chaînette. On supposera que l'arc de cercle et la chaînette de même corde et même flèche se confondent; on calculera l'angle α par la formule précédente; on en mettra ensuite la valeur dans les équations (B) et (C) et l'on aura la valeur de f. Si cette valeur diffère trop de celle qu'on a supposée, on augmentera ou diminuera l'angle α d'une quantité qu'on jugera nécessaire pour que la flèche f prenne la longueur convenable; et par cette espèce de règle de fausse position, on atteindra sans beaucoup de peine le but désiré.

Digitized by Google

Ainsi, par exemple, dans le pont des *Tranchées*, nous avons $d = 40^m,00$, et nous demandons que la flèche de courbure soit de $3^m,50$. Nous commencerons par calculer le rayon par la formule (β), et nous trouverons $R = 58,89$; alors la formule (γ) nous donnera par la substitution, log tang $\alpha = 9,55766$, et, par conséquent, l'angle $\alpha = 19°,51'$

Faisant maintenant usage de cet angle dans l'application des formules (B) et (C), on trouvera $f = 3^m,54$. Ainsi, avec l'angle de $19°,51'$ la flèche de courbure de notre chaînette sera de quatre centimètres trop longue. C'est pourquoi on prendra l'angle de $19°$, et l'on trouvera, en répétant le calcul, que la flèche de courbure ne sera plus que de $3^m,46$, c'est-à-dire, de quatre centimètres trop courte; mais il n'y a pas de mal, parce que la corde doit tendre à baisser en raison des poids dont elle sera chargée. Si l'on voulait que la flèche fût exactement de $3^m,50$, il faudrait prendre pour l'angle de la tangente extrême une valeur moyenne entre les deux précédentes, puisque les deux résultats donnent la même différence en sens opposés. Cette valeur serait donc $19°,25'$ en négligeant les secondes.

On vient de voir que l'arc de cercle, qui admet les mêmes tangentes extrêmes que la chaînette, descend seulement de quatre centimètres plus bas que cette dernière. C'est ce qui m'a fait dire que les deux courbes se confondent presque quand la flèche ne dépasse pas le dixième de la distance entre les points de suspension; ici elle est environ du douzième. Pour s'en convaincre encore davantage, il n'y a qu'à comparer l'équation de l'arc de cercle à celle de la chaînette de même corde et même flèche. Il faut pour cela transporter l'origine des coordonnées du cercle au point de suspensiou A (figure 14.e) en mettant dans l'équation ordinaire du cercle $x^2+y^2=R^2$, au lieu de x et de y les valeurs $x - \frac{d}{2}$ et $y + (R - f)$; car l'ancienne origine étant

en O, on a $CP = AP - AC = x - \frac{d}{2}$, et $QM = PM + PQ = y + (R - f)$. L'équation devient alors, toute réduction faite :

$$x = \frac{d}{2} \pm \sqrt{2Rf - f^2 - y^2 - 2y(R - f)}$$

et en mettant au lieu de R sa valeur $\frac{d^2 + 4f^2}{8f}$

$$x = \frac{d}{2} \pm \sqrt{\frac{d^2}{4} - y^2 - \frac{y}{f}\left(\frac{d^2}{4} - f^2\right)}$$

Maintenant, après avoir calculé les valeurs de x correspondantes à des valeurs particulières de y dans la chaînette, on calculera par la dernière équation les abscisses du cercle correspondantes aux mêmes ordonnées, et l'on verra qu'il y a peu de différence quand la flèche ne dépasse pas la limite assignée.

Voici ce que j'ai trouvé dans un projet de pont où la flèche de la chaînette n'avait, il est vrai, que $6^m,012$, lorsque la distance des deux points de suspension était de 150 mètres ; l'angle α avait pour valeur 9.° 18.′ 50.″ ancienne division.

Valeurs communes de y	Valeurs de x pour le cercle	Valeurs de x pour la chaîn.	Différences.
$y = 1^m,000$	$x = 6^m,485$	$x = 6^m,573$	$0^m,088$
$y = 2,000$	$x = 13,667$	$x = 13,763$	$0,096$
$y = 3,000$	$x = 21,829$	$x = 21,923$	$0,094$
$y = 4,000$	$x = 31,520$	$x = 31,609$	$0,089$
$y = 5,000$	$x = 44,148$	$x = 44,204$	$0,056$
$y = 6,012$	$x = 75,000$	$x = 75,000$	$0,000$

La plus grande différence entre les abscisses correspondantes n'est pas d'un décimètre, quantité bien faible, surtout si l'on fait attention que, par la forme même des deux courbes comparées, la plus petite variation dans les ordonnées en doit amener une très-grande dans les abscisses.

La coïncidence des courbes étant ainsi établie, on prendra l'équation du cercle comme la plus simple et la plus facile à mettre

Digitized by Google

en nombres, de préférence à celle de la chaînette, lorsque le rayon étant trop grand pour tracer l'arc de courbe au compas, on voudra le construire par abscisses et ordonnées. Mais alors il est plus commode de se donner les x pour calculer les y; et pour cela, il n'y a qu'à résoudre l'équation par rapport à y: on trouvera

$$y=-\left(\frac{d^2-4f^2}{8f}\right)+\sqrt{\left(\frac{d^2-4f^2}{8f}\right)^2-(x^2-dx)}$$

On peut encore construire la courbe graphiquement par le moyen de l'angle dans le segment ADB. On découpera cet angle sur du carton ou sur une feuille de papier fort, en lui donnant pour longueur de jambes la ligne AB; faisant ensuite rouler l'angle autour des points A et B, de manière que ses jambes passent toujours par les points désignés, le sommet tracera l'arc de cercle.

§. 3. — *Estimation du prix des cables.*

Le fil de fer se vend, dans le commerce, par bottes ou *masses* de cinq kilogrammes; il est donc bon de pouvoir estimer d'avance le nombre de masses qui seront nécessaires, le poids que chaque cable aura à supporter étant connu. Il faut, pour cela, savoir que la longueur du fil qui entre dans une masse est, à très-peu de chose près, en raison inverse de la section du fil. On pourra donc, en connaissant la longueur pour un certain numéro, calculer les longueurs pour les autres, lorsque les diamètres des fils seront donnés. Une masse du n.° 14 a environ 180 mètres de développement; c'est du moins ce que j'ai trouvé par une moyenne de plusieurs mesures directes.

Soient actuellement S la longueur d'un cable, A sa tension au point d'attache, due au poids du cable et du pont qui doit y être suspendu; soit φ la force absolue d'un fil, l la longueur développée de la masse, et p son prix. Il est clair qu'il faudra, pour résister à la tension A, un nombre de fils exprimés par $\frac{A}{\varphi}$.

Digitized by Google

Ce qui donnera une longueur développée . . . . . $\frac{AS}{\varphi}$

et un nombre de masses exprimé par . . . . . $\frac{AS}{\varphi l}$

Ainsi le cable coûtera . . . . . $\frac{AS}{\varphi l} \times p$

et il pèsera en kilogrammes . . . . . $5 \times \frac{AS}{\varphi l}$

Exemple: supposons qu'il soit question de faire, avec le fil n.° 14, un cable de 44 mètres de longueur, qui puisse résister à un effort de 6 700 kilogrammes.

On aura: $A = 6\,700$, $S = 44$, $\varphi = 200$, $l = 180$.

Il faudra un nombre de fils égal à. . . . . $\frac{6\,700}{200} = 33{,}33$

et un nombre de masses égal à . . . . . $\frac{6\,700.\,44}{200.\,180} = 8{,}2$

Le cable pèsera en kilogrammes . . . . . $5 \times 8{,}2 = 41{,}0$

et le mètre courant pèsera . . . . . $\frac{41}{44} = 0{,}93$

Ce sont ces nombres qu'il convient de tripler, dans l'application, pour avoir un excédent de force convenable, même dans le cas le plus défavorable, je veux dire, quand le pont est couvert d'autant de personnes qu'il en peut recevoir.

Digitized by Google

CHAPITRE VI. — Exécution.

§. 1.er — *Confection des cables.*

En conséquence de ce qu'on a vu dans le 1.er chapitre relativement à l'allongement que peut subir, sous le poids, un faisceau composé de plusieurs fils parallèles, j'ai pensé qu'il était convenable de faire supporter à tous les fils d'un cable une tension plus considérable que celle à laquelle il serait jamais soumis, lorsque le pont serait livré au public.

Je les ai donc chargés de 105 kilogrammes (1), poids égal à la moitié de ce qu'ils peuvent supporter. Et l'on sait, d'après les expériences citées, que c'est sous ce poids que des fils de ce numéro commencent à s'allonger.

Pour opérer, deux supports en charpente, A et A' (fig. 15) ont été établis dans un hangard, à la distance de 36 mètres: c'est la longueur des grands faisceaux. Ces supports sont composés de deux forts montans, réunis par une semelle C, et une entretoise D; ils sont arc-boutés par une pièce B, et s'appuyent par le haut aux solives du plancher. L'espacement des montans est de $0^m,50$; ils portent une petite potence, sur laquelle repose une barre de fer E, cylindrique, de six centimètres de grosseur, et une poulie F: les fils passent autour de la barre, et le contre-poids G, manœuvré par un levier H, est suspendu à une chaîne qui passe sur la poulie. C'est ce contre-poids qui, par le moyen d'une mordache ou tenaille à tirer. I, agit sur le fil auquel il faut donner la tension de 105 kilogrammes.

Entre la barre E et le montant du support est un coin en bois dur garni de fer, de 15 centimètres de grosseur. Quand le faisceau est fait, on chasse le coin et les fils se relâchant, laissent la possibilité d'ôter le cable de dessus les barres. Cette

(1) C'est le poids d'une grosse bombe.

Digitized by Google

opération exige des précautions, pour que la barre ne vienne pas heurter tout d'un coup le montant, ce qui pourrait occasionner sa rupture. La traction qui s'opère sur la barre E est, en effet, très-considérable, chaque fil étant tendu par un poids de 105 kil., réagit d'autant; ainsi nos cables, étant composés de 90 fils, l'effort total était de 9 450 kil. Je dois dire que la barre E n'aurait point résisté à cet effort, si l'on n'eût eu l'attention de placer les fils sur la barre tout près d'un des montans, plutôt que de les faire passer sur le milieu.

Il faut pour la manœuvre, un ouvrier intelligent et trois aides. L'ouvrier attache d'abord le premier fil à la barre E, au moyen d'une longue boucle; l'aide qu'il a avec lui porte une masse qu'il déroule en se reculant, pour la faire passer sur la barre E', et retourner du côté E. Pendant ce temps, l'ouvrier fait prendre la mordache I'; un des aides qui reste de ce côté lâche le contre-poids G' qu'il tenait suspendu par son levier, et le tirage s'opère. L'ouvrier se transporte en E; il fait passer le fil par dessous la barre pour le ramener par dessus; il saisit avec la mordache I le fil de dessous, pendant que son servant retourne à droite, pour passer le fil par dessus la barre E', et le ramener ensuite par dessous. Le manœuvre qui reste en H lâche le contre-poids G et le tirage du second fil s'opère. Alors on relève le contre-poids G' pour faire lâcher la mordache I': tout reste tendu, excepté le fil qu'on amène. On saisit ce fil avec la mordache libre et on fait agir le contre-poids; mais auparavant, le manœuvre de gauche a soin de placer exactement le second fil à côté du premier, sur la barre E; le manœuvre de droite a la même attention pour chaque fil qu'on place sur la barre E', qu'il est chargé d'observer. L'opération se continue de la sorte, et marche assez vite, quand une fois les ouvriers y sont formés et qu'on a des masses à grands bouts et bien dévidées.

Digitized by Google

Quand il y a une ligature à faire pour joindre deux bouts, le manœuvre le plus voisin apporte une masse et aide à tenir les fils croisés, pendant que l'ouvrier, se servant d'un tourniquet, fait promptement sa ligature. Il y a du temps à gagner en préparant d'avance les masses pour les délier et les débrouiller, ensorte que l'ouvrier n'ait qu'à les prendre pour les mettre en œuvre. Il conviendrait aussi de faire venir de la fabrique, non pas des masses régulières de cinq kilogrammes, mais des bouts séparés et aussi longs que possible. On doit encore avoir l'attention de couper des fils recuits, du n.° 4, à la longueur de 60 centimètres, pour faire toutes les ligatures de même force.

Les fils ne peuvent pas être tous placés à côté les uns des autres sur la barre, cela ferait une boucle trop large; il faut en faire plusieurs rangs les uns au-dessus des autres. Dès-lors il est nécessaire de placer, entre les divers rangs, des lames de plomb de 1 $\frac{1}{2}$ millimètres d'épaisseur, dont on replie les bords pour retenir les fils ensemble.

L'ouvrier qui déroule les masses doit être pourvu d'une paire de bons gants de peau pour se garantir les mains qui ont à souffrir du frottement continuel des fils et des pointes qui s'en détachent.

Quand on est arrivé au dernier fil, on le lie avec un des voisins. Après cela on entoure le faisceau d'un fil en hélice pour que les brins ne se séparent pas quand on l'ôtera de dessus les barres; et pour bien faire, l'hélice doit être à spires serrées, afin de donner plus de force à la ligature; et, dans la même intention, le fil recuit avec lequel on la fera doit être d'un numéro assez élevé. Pour n'avoir pas pris ces précautions et avoir fait la ligature avec un fil n.° 4 roulé en hélice dont les spires étaient à cinq centimètres de distance, j'ai été obligé de la refaire après la suspension des faisceaux; le fil spiral s'était rompu en plusieurs endroits par les frottemens que les faisceaux avaient

Digitized by Google

eus à essuyer. Vers les extrémités, le faisceau reste en rubans, comme on le voit à la *figure* 1.re *Planche* 2.e : on ne peut lui donner la forme d'une corde qu'à un mètre et demi du bout. Le cable étant achevé, on chasse à coups de marteau les coins qui servent de coussinets aux barres E et E', et qu'on a eu soin de graisser pour les rendre glissans, le cable se lâche alors d'une quantité suffisante pour qu'on puisse retirer les barres qui sont passées dans les boucles.

Quoique j'aie dit qu'il faut un ouvrier et trois aides pour la confection des faisceaux, j'ai cependant éprouvé que deux aides suffisent; mais il faut qu'ils se donnent beaucoup de mouvement pour aller, d'une extrémité à l'autre, faire la manœuvre des leviers. J'ai fait ainsi en huit heures de travail, avec trois ouvriers, les faisceaux de 36 mètres de longueur à 90 fils; chaque ouvrier faisait donc *douze* mètres de cable par jour.

On a employé, pour faire les faisceaux intermédiaires (1) et les écheveaux d'attache, les mêmes moyens; mais le travail va naturellement plus vite. On faisait *quatre* faisceaux intermédiaires en un jour, ceux-ci ayant six mètres de longueur; et *douze* écheveaux d'un mètre, dans le même temps. Les brides ont aussi été construites de même; on a fait les *huit* en un jour et demi; elles avaient 7 et 9 mètres de longueur à 32 fils.

Le déchet du fil de fer est assez considérable : on peut l'évaluer à un dixième de la totalité; peut-être serait-il possible de le réduire, en commandant des fils de choix, qu'on payerait en proportion de ce qu'on les obtiendrait plus longs.

Les inconvéniens du mode de faire, indiqué ci-dessus, sont assez nombreux : le plus grand est la nécessité où l'on se trouve de changer la charpente des supports à chaque longueur différente de faisceaux à confectionner, et comme cette charpente

(1) J'appellerai ces faisceaux intermédiaires *chaînons*; cela rappellera qu'ils sont destinés à réunir les deux principales parties d'un même cable.

Digitized by Google

doit être établie solidement, cela exige beaucoup de main-d'œuvre; et il faut de plus un local propre à un pareil établissement. Il serait à désirer que tout pût se faire au moyen de deux chariots qu'on fixerait aux distances convenables, à la manière des cordiers; mais la forte tension des fils s'y oppose.

Cette forte tension a encore l'inconvénient d'enfoncer les coins dans les montans, malgré les plaques de forte tôle dont on peut les garnir, en sorte que les derniers fils se trouvent plus courts que les premiers qui, venant ainsi à se relâcher un peu, doivent être retendus. Cela augmente d'autant le travail et cause beaucoup d'ennui.

Les coins, au lieu d'être d'un seul bloc, devraient être composés de pièces mariées, en fer, qu'on pourrait enlever l'une après l'autre, sans danger de ces secousses qui menacent de rompre la charpente, et de ces mouvemens de bascule des barres extrêmement dangereux pour les ouvriers.

Les faisceaux, étant faits avec des fils roulés sur un certain diamètre, affectent la forme hélicoïde quand ils sont lâchés, et cette courbure, qui est accompagnée d'une grande rigidité, apporte de grandes difficultés au maniement des faisceaux, et ce n'est pas un des moindres inconvéniens. Peut-être conviendrait-il de dresser chaque fil avant de l'employer, bien que cela augmentât la main d'œuvre.

La boucle, où doit passer la bobine d'assemblage, se dérange facilement dans les transports et autres opérations qui précèdent la suspension. Il serait en conséquence convenable de faire les faisceaux sur les bobines elles-mêmes, qui alors remplaceraient les barres E et E'; on pourrait, pour cela, rapprocher les montans de la charpente et adapter à chacun une forte vis, dont l'extrémité viendrait prendre la bobine par son vide intérieur: serrant les deux vis opposées, la bobine serait maintenue comme sur le tour d'un tourneur. A cet effet l'extrémité des vis serait conique pour pouvoir s'adapter à toute grandeur de

Digitized by Google

vide, et le cylindre creux de la bobine s'évaserait un peu à son extrémité, pour que le contact des vis et de la bobine ne se fît pas uniquement par une arête. En adoptant ce procédé, il faudrait faire les bobines plus grosses que les miennes, et cela n'en serait que meilleur.

Un autre inconvénient majeur, est celui de ne pouvoir pas raccourcir un cable, et d'être obligé de s'en servir tel qu'il est sorti du chantier, en sorte que s'il se trouve trop long, il faut en faire un autre. Ne pourrait-on pas remplacer les boucles de nos faisceaux, qui sont si délicates et exigent un appareil de construction assez compliqué, par des anneaux en fer forgé semblables, à peu près, à celui que représente la figure 16.e? Il est d'une grosseur proportionnée à l'effort qu'il doit supporter, et d'une forme allongée favorable à la résistance; renflé vers le bas, il porte une douille dans laquelle entrent les extrémités des fils qui composent le faisceau. La douille est évasée vers l'intérieur de l'anneau, en sorte qu'après avoir chauffé, recourbé et forgé le bout des fils, ils ne peuvent plus sortir; et l'anneau se trouve ainsi fixé. Si ce procédé est applicable, il faudra réunir les diverses parties d'un même faisceau par un autre moyen que celui que j'ai indiqué; ou bien, en conservant ce moyen, remplacer les anneaux par des bobines renflées au milieu (*figure* 17.e) et portant une douille pareille à celle de l'anneau: elle pourrait se faire en gueuse comme les nôtres. En adaptant ainsi une bobine ou une boucle à l'extrémité d'un cable, on aurait l'avantage de pouvoir le couper à la longueur qu'on voudrait; en sorte qu'on ne serait pas obligé de changer de place les supports de construction à chaque longueur de cable différente; on tirerait d'un long faisceau autant de chaînons qu'il en pourrait donner, et l'on trouverait certainement une grande économie de temps et de peine.

Peut-être préférera-t-on aussi renoncer à la grande tension que

Digitized by Google

j'ai cru devoir donner à tous mes fils, pour ne faire simplement que les placer à côté les uns des autres et les lier par un fil en hélice très-serrée? En s'y prenant ainsi on court le risque de voir le faisceau s'allonger un peu sous le poids, moins cependant qu'à notre pont d'essai où les faisceaux ont été construits sans autre tension que celle qu'on a pu leur donner à la main, et n'ont été liés que de distance en distance; mais en revanche on trouvera une plus grande facilité d'exécution, et l'on pourra, en ne prenant des fils que de la longueur du faisceau, éviter les ligatures intermédiaires qui sont désagréables à l'œil, et occasionnent des vides dans le faisceau où la rouille s'introduit aisément. Il suffirait alors d'attacher ces fils par leurs deux extrémités à des crochets fixés à de forts plateaux qu'on assujétirait à la distance convenable; et, commençant la ligature par un des bouts pour la finir à l'autre, avec l'attention de serrer fortement les fils par le moyen d'une pince à mâchoires creuses et arrondies, le faisceau s'égaliserait de lui-même; les fils se redresseraient et resteraient exactement parallèles à côté les uns des autres, presqu'aussi bien que quand on prend la peine de les tendre par des contre-poids. Je ne crois pas qu'un cable construit de la sorte courût risque de s'allonger beaucoup sous le poids. J'ajouterai qu'un de nos mécaniciens les plus habiles, M. Darier, a eu l'idée de recouvrir les faisceaux d'une lame d'étain par le moyen du tirage à la filière; il a fait ainsi un faisceau de $1^{m},50$ de longueur et de 80 fils qui a parfaitement réussi: les fils étaient bien étirés et tellement serrés les uns contre les autres que la section transversale n'y laissait apercevoir presqu'aucun vide. Rien ne serait plus élégant que des faisceaux ainsi préparés; mais l'expérience seule peut démontrer s'il est facile d'en faire d'une grande longueur et d'un fort diamètre. Quoiqu'il en soit, cette manière de faire, ainsi que la précédente supposent que l'on adapterait aux ex-

Digitized by Google

trémités des faisceaux des boucles de fer ou des bobines renflées; car la boucle ordinaire ne pourrait pas s'exécuter.

§. 2. *Pose des plaques en fer de fonte.*

La pose des plaques destinées à fixer en terre l'extrémité des tirans exige des précautions et offre des difficultés. Il faut que ces plaques soient établies dans un même plan perpendiculaire à celui dans lequel se trouvent les tirans, afin que ceux-ci n'éprouvent aucune torsion par le tirage. On construit donc, sous chaque plaque, et avant la pose, deux petits murs assez écartés l'un de l'autre pour qu'on puisse aller, par dessous la plaque, mettre les écrous des tirans. Ces murs sont terminés par des plans inclinés qui se confondent avec le plan dans lequel les plaques doivent être arrêtées; on fixe ces plaques sur les murs de supports et l'on rectifie leur position au moyen de la régle et du niveau, et en prenant pour ligne de repère la droite horizontale qui passe par le centre des trous percés dans les plaques. On peut encore avoir recours au quart de cercle pour fixer autour de la droite des centres l'inclinaison du plan.

§. 3. *Pose des cables.*

On a d'abord placé les chaînons sur les coussinets de la pile et des culées, en les étirant autant que leur rigidité pouvait le permettre; puis on a filé le cable dans le fossé, en se servant d'une poulie adaptée au toît du petit bâtiment. On a réuni son extrémité avec celle du chaînon placé sur la culée intérieure par deux bobines et deux écheveaux, l'autre extrémité restait flottante dans le grand fossé. On en a fait autant dans le petit fossé, c'est-à-dire, qu'on a fixé une extrémité du cable au chaînon correspondant placé sur la culée extérieure, et qu'on a laissé l'autre extrémité libre dans le fossé.

Digitized by Google

Les boucles des chaînons ont passé facilement dans les crochets des tirans, malgré le peu d'ouverture de ceux-ci, parce que les boucles ont la forme d'un large ruban qu'on a pu faire entrer par le côté, pour serrer après le crochet à froid au moyen d'un étau comme il a déjà été dit. La sellette de cuivre se met aisément entre le crochet du tiran et le fil de fer, parce que son échancrure permet aussi de la faire entrer par le côté, sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir le crochet.

Quand tous les cables ont été suspendus aux culées par une de leurs extrémités, on a monté l'autre sur la contregarde, à force de bras et au moyen d'une corde fixée un peu au-dessous de la boucle. L'opération se faisait à la fois dans les deux fossés et sur les parties d'un même cable, en ayant l'attention de maintenir le chaînon intermédiaire dans la position convenable pour déborder la pile des deux côtés également. Le cable arrivé à une certaine hauteur, le cordage a été arrêté autour de la pile, et l'on a équipé de chaque côté une mouffle, au moyen de laquelle on a achevé de soulever le cable jusqu'au degré convenable pour le réunir au chaînon intermédiaire par des bobines et des écheveaux, comme de l'autre côté. Si, par l'effet de tensions inégales, le faisceau intermédiaire glissait d'un côté ou de l'autre, deux ouvriers montaient sur la pile, soulevaient un peu le cable, et le remettaient assez facilement à sa place. Deux repères, marqués sur le chaînon et correspondans aux angles des coussinets, servaient à vérifier la pose du chaînon; on doit mettre la plus grande attention à faire cette vérification, sans cela le cable d'une des arches descendrait plus que l'autre. Les écheveaux ont été faits en corde, provisoirement, afin qu'on pût selon le besoin en faire varier la longueur; je la fixai de manière que la flèche de courbure fut de 15 centimètres plus courte qu'elle n'avait été calculée, estimant qu'il fallait au moins cela pour l'abaissement qui aurait lieu sous le poids; car

Digitized by Google

dans leur état actuel les cables étaient bien loin d'affecter la forme d'une courbe régulière; ils conservaient encore, par l'effet de leur rigidité, quelque chose de la courbure heliçoïde qui leur est propre quand ils sont abandonnés à eux-mêmes. J'ai ainsi trouvé que les écheveaux des cables les plus courts devaient avoir 0m,95 de longueur; ceux du côté des culées étaient tous égaux entr'eux et de 0m,50 seulement.

Je n'ai fait cette opération préliminaire que sur un des cables qui devaient avoir le moins de courbure, et j'ai déterminé par le calcul la longueur de celui qui devait en avoir le plus; j'ai trouvé qu'il fallait le faire de 0m,50 plus long pour qu'il descendit d'un mètre plus bas; mais prévoyant l'allongement que le poids donnerait à ce cable qui, dans son état de liberté, avait encore moins de tension que le premier, et conservait davantage la forme héliçoïde, j'ai réduit à 0m,33 l'excédent d'un cable sur l'autre : les écheveaux de ces cables ont donc été faits de 1m,28 de longueur. Quant à ceux des cables intermédiaires, je les ai faits de 1m,10 se rapprochant un peu plus de la longueur des premiers que de celle des derniers; attendu que, quand les cordes ont une plus grande courbure, il faut de plus grands allongemens pour des augmentations de flèches égales.

C'est donc au moyen des écheveaux intermédiaires, que j'ai fixé définitivement la longueur des différens cables. Lorsqu'ils ont été exécutés sur les dimensions prescrites, on les a mis en place sans la moindre difficulté, parce que le terre-plein de la contregarde facilitait les manœuvres. Deux échelles, s'arc-boutant à la hauteur de l'attache, donnaient aux ouvriers la facilité de placer les bobines et de les embrasser par les écheveaux. Dans toute autre circonstance il faudrait construire des échafaudages pour le même objet.

C'est en traçant des repères sur les deux culées et sur la pile du milieu que j'ai pu déterminer la flèche de courbure et arrêter au point convenable la partie inférieure du cable.

Digitized by Google

Dans les différentes manœuvres où il a fallu employer beaucoup de force pour surmonter le poids et la rigidité des cables, les boucles ont eu beaucoup à souffrir, en telle sorte, que les fils, au lieu de rester réunis, se sont un peu séparés et ont perdu de leur parallélisme exact. C'est ce qui m'a fait penser qu'on trouverait de l'avantage à remplacer les boucles par des anneaux de fer, si la chose était possible.

Il a fallu une journée à deux ouvriers et quatre manœuvres pour mettre en place les six cables, quand une fois les écheveaux ont été faits.

§. 4. *Pont de service.*

C'est un des grands avantages des ponts suspendus, et surtout des ponts suspendus en fil de fer, que de pouvoir faire servir les cables eux-mêmes, au pont de service.

Voici comment le nôtre a été fait : avant de placer les cables, j'ai eu soin de déterminer la place des faisceaux suspenseurs et leur longueur ; on a attaché, aux endroits désignés, des bouts de corde plus longs d'un mètre et demi que les faisceaux correspondans afin de pouvoir lier, avec leur extrémité inférieure, les traverses du pont de service. Nous avons eu ainsi, lorsque les cables ont été à leur place, la facilité de suspendre les traverses aux cordes en allant de proche en proche.

La manœuvre, qui a ses dangers et qui ne peut être faite que par des ouvriers exempts du vertige, a été conduite de la manière suivante : deux ouvriers, placés sur la culée, ont attiré à eux avec un crochet les bouts de cordes les plus voisins, et les ont liés avec le nœud allemand aux deux extrémités de la même traverse et à une longueur que le simple coup d'œil leur montrait nécessaire, mais la même de chaque côté pour que la traverse suspendue fut bien horizontale (Voyez la figure 20.e). La

Digitized by Google

traverse étant abandonnée, on jetait dessus deux planches de chaque côté, qu'on y arrêtait par quelques cloux; sur ces planches on en mettait deux autres pour augmenter la solidité. Au moyen de ce commencement de pont, les deux ouvriers s'avançaient jusqu'à la première traverse, saisissaient avec leurs crochets les cordes qui devaient supporter la seconde, les liaient à une longueur convenable et passaient de nouvelles planches de la première traverse à la seconde, les clouaient sur celle-ci, et en s'avançant jusque-là accrochaient les cordes de la troisième traverse pour continuer, comme il vient d'être dit, jusqu'à l'autre bout du pont.

Les traverses étaient de petites poutres de sapin dites *carrelets* de 10 centimètres d'équarrissage et 3m,50 de longueur, telles qu'on les débite dans le commerce; n'y ayant fait aucune entaille, on a pu les rendre au marchand qui n'a demandé pour cela aucune indemnité.

Tant que le faux pont n'est pas achevé il est extrêmement élastique et ondoyant; un petit vent produit sur lui le même effet que sur la surface de l'eau. Il est donc important de l'arrêter par ses deux extrémités pour diminuer ces effets; je dis diminuer, parce que les ondulations ont encore lieu malgré cela; les planches placées les unes sur les autres, comme les tuiles d'un toit, ne sont liées entr'elles que par quelques cloux, et n'offrent par conséquent que fort peu de résistance.

Dans un pont plus considérable, il faudrait sans doute jeter des longrines qu'on arrêterait fortement aux traverses; mais je ne l'ai pas jugé nécessaire dans la construction de notre petit pont, où cinq à six ouvriers seulement devaient travailler.

Les choses étant dans cet état, le faux pont n'est point encore achevé, parce que, quelque soin qu'on ait mis dans la pose des traverses, elles ne se trouvent point à leur place définitive; les poids successifs, dont les cables sont chargés, les font va-

Digitized by Google

rier et empêchent de donner au tablier du pont la forme rectiligne, ou pour mieux dire la forme légèrement convexe qui lui convient. On revient donc à chaque attache, et, par le moyen de petits crics et de chaînes de secours, on abaisse ou on relève la traverse, jusqu'à la place qu'il faut lui donner. Si les écarts sont considérables on fait la correction en plusieurs reprises. C'est cette opération assez longue qui a fait que trois jours ont été nécessaires pour l'établissement du pont de service; car, pour ce qui est simplement de le jeter, deux ouvriers l'on fait dans trois quarts de journée pour le grand pont, et une demi-journée pour le petit; allant eux-mêmes chercher les planches et les traverses jusque sur la contregarde où des manœuvres les avaient apportées. On abrégera l'opération, si l'on veut se donner la peine de calculer et de marquer, par un fil de couleur, les endroits de chaque corde où doivent s'attacher les traverses; les corrections se réduiront alors à peu de chose; et je n'estime pas qu'il eût fallu plus de deux jours, à quatre ouvriers, pour achever les deux portions de notre faux pont, si nous eussions pris cette précaution.

Le faux pont, rectifié et bien arrêté par ses bouts, on l'a couvert de planches pour faire un tablier continu, et l'on a pu ammener dessus tous les bois nécessaires à la construction du pont.

Le poids du faux pont et d'une demi-douzaine d'hommes a suffi pour tendre à peu près les cables et leur donner la forme du polygone funiculaire, d'où il est résulté un abaissement de *seize* centimètres dans le point inférieur du cable le plus court dans le grand pont, et de *vingt-cinq* centimètres pour le même cable dans le petit pont. Cette différence est due à ce que, dans ce dernier, les faisceaux présentent de grandes portions en ligne droite vers la pile intermédiaire, d'où résulte un plus grand abaissement.

Les cables auraient pris une forme plus régulière, si la culée

Digitized by Google

extérieure eût été au même niveau que la culée intérieure, et si les deux parties du pont, au lieu de s'arrêter aux bords de la contregarde, eussent été poussées jusqu'à la pile. Vers cette pile, les cables, n'ayant rien à supporter, sont plus vibrans, et les lignes droites qu'ils forment rompent la symétrie de la courbe, ou pour mieux dire, du polygone. Mais ces inconvéniens résultaient de la localité; ils étaient prévus; il n'y a point eu de mécompte à cet égard. J'ai préféré passer par dessus ces inconvéniens et diminuer la dépense, en n'établissant qu'une seule pile, au lieu de deux culées intermédiaires. Il était d'ailleurs intéressant de s'assurer, si des cables qui ne feraient que reposer sur un support, sans y être arrêtés, ne glisseraient point quand une des deux parties du pont serait chargée, l'autre ne l'étant pas.

Il a fallu parer à cet accident pendant la construction; car le pont, n'ayant pas encore acquis tout son poids et n'étant pas bridé, il était à craindre qu'en chargeant un côté du pont, on ne fît descendre cette partie et remonter l'autre. Pour empêcher ce mouvement, M. Messaz a eu l'heureuse idée de pincer les six chaînons, de chaque côté de la pile, entre deux moises fortement boulonnées et taillées en fausse coupe sur leur face de joint, suivant l'angle que fait le chaînon avec l'horizontale (Voyez la figure 18.e). Chaque chaînon, ainsi serré dans une légère rainure, ne pouvait plus obéir à la traction et restait à sa place. Les deux cours de moises étaient supportés par des montans plantés en terre, et des traverses, arrêtées par des clefs, empêchaient leur écartement; du reste, elles étaient appuyées contre la maçonnerie, et n'ont pas souffert le moindre déplacement.

Il s'est présenté, pendant la construction du pont de service, une difficulté qu'il est bon de signaler: quelques-unes des bobines d'assemblage, au lieu de rester dans une direction perpendiculaire aux faisceaux, se sont jetées de côté, de manière à former, avec les écheveaux, des parallélogrammes obliquangles.

Digitized by Google

Cela pouvait devenir dangereux; il a fallu y porter remède, et, pour cela, décharger le cable, c'est-à-dire, délier toutes les traverses qui y étaient suspendues, et rapprocher les bouts du cable et du chaînon. Les bobines étant ainsi dégagées, on a pu les redresser et remettre exactement au milieu les boucles opposées; la moindre déviation occasione le gauchissement.

Cet accident a retardé le travail, et n'a eu lieu que parce que les bobines étaient un peu trop longues, pour le nombre de fils qu'elles devaient recevoir; les boucles qui passaient dessus avaient un peu de jeu. Il n'en faut aucun, et en conséquence on doit calculer très-exactement la longueur des bobines d'après le nombre de fils qu'on veut y mettre; et pour mieux faire encore, ces bobines seront fondues avec de petits collets ou renforts qui sépareront la partie du milieu des extrémités (figure 19.e). Il en résultera que chaque boucle restera à sa place et que jamais l'axe des bobines ne cessera d'être perpendiculaire à la direction du faisceau, parce que les efforts seront égaux de part et d'autre. Je conseillerais en outre, comme je l'ai déjà dit, de faire le faisceau sur la bobine, parce qu'alors les fils ne se dérangeraient en aucune manière. Ce sont des dérangemens dûs aux manœuvres de force, qui ont rétréci quelques-unes de nos boucles, lesquelles n'ont plus occupé toute la largeur de la bobine, et ont pu glisser d'un côté ou de l'autre, ce qui a occasioné le déversement et les accidens qui en ont été la suite.

§. 5. *Montage du pont.*

Une fois le faux-pont établi et bien régularisé, le montage du pont n'a plus offert de difficulté : on a amené les pièces de bord inférieures, qu'on a assemblées bout à bout; on a mis les traverses dans les entailles, et placé par dessus les pièces de bord supérieures, qu'on a chevillées avec les inférieures par les trous qui devaient recevoir les montans du garde-fou. Après cela, on a assemblé, dressé et boulonné les poutrelles intermédiaires

Digitized by Google

sur les traverses; on a ôté les chevilles qui assemblaient provisoirement les pièces de bord, et on les a remplacées par les montans du garde-fou, après avoir mis en place les plateaux correspondans à ces montans.

Dans cet état, le pont a eu toute la solidité suffisante, pour qu'on pût substituer les faisceaux suspenseurs aux cordes de lin qui jusque là supportaient le faux-pont et le pont. Pour le faire, on a commencé par déplacer successivement les cordes pour les rapprocher du pont, et amener les cables dans les plans obliques où ils doivent rester quand le pont y est attaché. On a, pendant cette opération qui s'est faite en un jour par quatre ouvriers, relâché ou tendu davantage quelques-unes des cordes pour donner au pont une légère courbure de 10 centimètres de flèche, avant de l'arrêter définitivement : cette courbure m'a paru nécessaire, parce que le pont peut se baisser avec le temps, ou par la chaleur, si les fils de fer subissent un allongement quelconque. Cela étant fait, on a attaché les traverses du pont aux cables par les faisceaux suspenseurs faits à la main, comme il a été dit, de douze fils chacun. A mesure qu'un faisceau était achevé, l'ouvrier détachait la corde correspondante pour la lier aux pièces de bord; de manière que, quand tout a été fini, le pont de service s'est trouvé suspendu au pont lui-même; il a été alors extrêmement facile de le démonter,

La charge du pont a fait descendre encore de cinq centimètres la partie inférieure du cable le plus court, en sorte que l'abaissement total a été de *vingt-un* centimètres pour le grand pont, et de *trente* centimètres pour le petit. Cet abaissement total s'est trouvé un peu plus grand que celui que j'avais prévu; mais il n'y a pas eu de mal, parce que le garde-fou étant indépendant des cables, peu importe que le premier de ces cables arrive exactement à la hauteur de la main courante, ou descende un peu plus bas; l'essentiel est, que le troisième n'arrive pas sur les traverses du pont; or, ceci ne m'est point arrivé, parce que

Digitized by Google

j'avais diminué convenablement la longueur de ce dernier cable.

Je dois dire encore que les cordes du pont provisoire, n'occupant pas précisément la place des faisceaux suspenseurs, il a fallu, pour attacher ceux-ci, faire plier les cables par la force d'un cric, afin de former l'angle du polygone funiculaire à l'endroit convenable. Sans cette précaution, on n'eût pas été sûr de conserver au pont la forme qu'on voulait lui donner, parce qu'en ôtant le faux-pont, le polygone funiculaire eût changé de figure.

Quatre ouvriers serruriers ont employé deux jours à faire tous les faisceaux suspenseurs, au nombre de quatre-vingt quatorze; les mêmes ouvriers ont mis trois jours à rouler, sur toute la longueur des six cables, un fil en spirale serrée.

N'oublions pas de dire que les cables, une fois en place, on les a couverts d'une nouvelle couche d'huile siccative : ils en avaient reçu une première à chaud dans l'atelier, avant d'être transportés. Cette espèce de vernis, extrêmement facile à faire et composé simplement d'huile de lin recuite avec de la litharge, m'a paru être ce qu'il y a de mieux; on verra avec le temps s'il faut souvent renouveler la couche. Il faudrait, pour l'appliquer convenablement, et le faire pénétrer jusqu'aux fils les plus intérieurs, le faire chauffer dans un vase très-allongé qui permît d'y plonger le faisceau courbé en grande boucle; on ferait ainsi passer le faisceau dans l'huile bouillante, d'un bout à l'autre.

Quand le faux-pont a été enlevé, on a mis les plateaux; à mesure qu'on les clouait et serrait les uns contre les autres, le pont acquerrait de la solidité, surtout dans le sens horizontal : chaque plateau était fixé par deux forts clous (dits clous de bateaux) sur chacune des pièces de bord, par un pareil sur la poutrelle du milieu, et par un autre plus petit sur chacune des poutrelles intermédiaires. Ces trois derniers clous n'étaient pas plantés sur la ligne du milieu du plateau, mais sur une ligne diagonale, afin de s'opposer plus efficacement à tout mouve-

Digitized by Google

ment de torsion. Un double plancher, fait en petits plateaux posés de biais ou en écharpe, le premier rang recroisant le second, serait peut-être préférable pour la solidité, mais apporterait quelque complication de plus et donnerait prise à l'action de l'humidité, ce que je me suis proposé d'éviter.

§. 6. *Pose des brides.*

Les brides ont été placées à la distance de 9m,50 pour le grand pont, et de 7m,50 pour le petit, à partir des extrémités. Tant qu'elles n'y étaient pas, le pont vibrait d'une manière assez forte sous le pas d'un homme, et même sous celui d'un enfant; dès qu'elles ont été mises, il a acquis une rigidité satisfaisante; une secousse assez forte est nécessaire pour le faire vibrer; et dans tous les cas, les vibrations n'ont rien d'alarmant. Quelque soin que j'aie mis à donner à la charpente toute la solidité désirable; quelque forte qu'on la suppose, elle fouettera toujours avec une aussi grande portée, si on ne l'amarre pas par-dessous en plusieurs points. Cela est nécessaire bien moins pour empêcher le mouvement horizontal, qui est insensible, que les fluctuations dans le sens vertical. J'aurais mieux fait de doubler la poutrelle du milieu, comme celle des bords; et, dans un pont destiné à porter voitures, il faudrait doubler également toutes les autres poutrelles, ou adopter un système de charpente encore plus solide; sans cela, les vibrations resteraient trop fortes, malgré les brides. Il faudrait, en outre, arrêter très-solidement les extrémités de toutes les poutrelles, en les engageant de 1m,50 à 2m,00 dans la maçonnerie des culées; car il est de fait qu'il faut un poids quadruple pour produire la même flèche de courbure dans une lame élastique arrêtée par ses deux extrémités, que sur la même lame posant librement; et cette propriété a aussi lieu très-sensiblement dans une pièce de bois assez longue, par rapport à sa grosseur, pour être très-flexible. Nos poutrelles n'ont que 0m,50 de prise, cela n'est pas assez.

Digitized by Google

Un inconvénient que je ne dois pas taire, c'est que les brides font fléchir sensiblement le pont à l'endroit où elles sont attachées, et occasionent un bombement dans le milieu ; effet désagréable à l'œil, et qu'on ne peut éviter qu'en donnant plus de force à la charpente, ou en multipliant les brides. Un faisceau inférieur tendu d'une culée à l'autre, de chaque côté du pont, pourrait servir de point d'attache à toutes les brides que l'on multiplierait alors autant qu'on le voudrait. C'est peut-être le meilleur moyen de donner de la stabilité au pont, sans perdre le principal avantage de ce genre de construction, de n'exiger que fort peu de points d'appui. Je sais que cela a déjà été proposé pour les ponts suspendus en chaînes de fer forgé; l'expérience peut seule confirmer l'excellence du procédé qui a, en outre, pour but de préserver le pont, dont la construction est si légère, des accidens qui pourraient résulter d'un fort coup de vent.

La tension des brides s'est faite aisément par le moyen de mouffles. Une des boucles de la bride passait en haut sur un boulon, et l'autre passait en bas sur la branche horizontale du boulon en forme de T, scellé dans la muraille. Les brides ayant été faites plus longues qu'il n'était nécessaire, je me suis dispensé de les attacher avec des bobines et des écheveaux; on a simplement séparé les fils en deux boucles, pour en mettre une autour de chaque branche du T; puis on les a tirées avec la mouffle; et les fils glissant sur les branches du T qu'on avait graissées à cet effet, la bride prenait la tension qu'on voulait lui donner. Après cela, on a lié fortement les boucles à la bride elle-même, et l'opération a été achevée. Cette ligature se fait comme les autres, avec un fil recuit de grosseur moyenne qu'on roule en spires serrées: elle réussit en grand comme en petit, c'est-à-dire, qu'on peut réunir deux bouts de faisceaux comme on réunit deux simples fils; il faut cependant que, dans le pre-

Digitized by Google

mier cas, la ligature se prolonge à une assez grande distance pour être solide.

La manière d'attacher les brides que nous avons employée est extrêmement simple; mais elle a le grand inconvénient que pour tendre la bride, quand, par une cause quelconque, elle vient à se relâcher, il faut défaire les ligatures du bas et appliquer de nouveau la mouille. J'aurais évité cet embarras en attachant la bride à un crochet fixé sur les pièces de bord et terminé par une vis, qu'un écrou, à la portée de la main, eût fait monter ou descendre, pour tendre ou relâcher la bride; cette manœuvre eût été des plus faciles.

Enfin, tout étant placé, on a mis une double couche de vernis à la céruse sur toutes les parties des bois exposées à la pluie, et l'on a recouvert tous les fers d'une bonne couche de couleur noire pour les préserver de l'oxidation. Les cables avaient déjà été enduits deux fois d'huile siccative, comme il a été dit; et toutes ces précautions sont nécessaires pour les préserver du danger de la rouille qui aurait sur eux une grande prise, et ferait en peu de temps des ravages effrayans dans les faisceaux dont les fils multipliés présentent une grande surface; la solidité de l'ouvrage ne tarderait pas à être compromise. Le pont ainsi achevé, a pris un caractère de légèreté et d'élégance qui frappe tous ceux qui le voient pour la première fois. Il a coûté définitivement 16350 francs, savoir :

Maçonneries des culées et de la pile, ...	4100
Maçonneries des loges et accessoires, ...	3800
Fers forgés et grosse serrurerie des portes, . .	2800
Fils de fer et main-d'œuvre, ...	1940
Achats des bois et main-d'œuvre, ...	2250
Plomb, cuivre, sellettes, bobines, fer-blanc et vernis,	800
Terrassement pour les coupûres et les fondations, .	160
Frais divers, indemnités, etc.	500
	16350

Digitized by Google

Le devis portait 35000 fl., soit 16154 fr.; on voit par là, que la dépense réelle n'a dépassé que de 196 francs la dépense prévue. Le pont n'aurait pas coûté plus de onze à douze mille francs, s'il n'y eût pas eu de loges à construire, et s'il n'eût pas fallu le fermer par de fortes portes. On peut donc calculer qu'un pont d'une quarantaine de mètres de longueur, deux mètres et demi de largeur, d'une seule arche et fait sur les mêmes principes que le nôtre, coûterait environ huit mille francs, en ne négligeant rien de ce qui peut lui donner de l'élégance et de la solidité.

Digitized by Google

CONCLUSION.

Je dois dire, en terminant ce Mémoire, que depuis quatre mois que le pont suspendu en fil de fer est livré au public, c'est-à-dire, depuis le 1.er août 1823, il n'a pas subi la moindre altération dans sa forme primitive. Le tablier a conservé constamment le léger degré de convexité qui lui a été donné dans la construction, ce qui indique que les faisceaux n'ont pas subi d'allongement sensible, bien que le pont ait eu à supporter des charges et des secousses considérables, l'affluence des curieux étant très-grande dans les premières semaines. Les gros blocs de pierre qui ont servi aux dés des culées, ont été transportés sur chariot par le pont, sans occasioner la moindre avarie, et je suis convaincu qu'on pourrait y faire passer des charges bien plus fortes encore, sans qu'il en résultât rien de fâcheux. L'élasticité du pont est à peu près la même qu'au moment où il venait d'être terminé, c'est-à-dire, qu'un homme marchant d'un pas accéléré produit des vibrations légères, mais point d'oscillations; si le pas est plus modéré, le tablier conserve une rigidité parfaite; mais en tout cas, les vibrations ne sont jamais telles qu'elles puissent alarmer; les maçonneries les supportent très-bien; elles ne se propagent pas d'un pont à l'autre, et le public s'y est parfaitement accoutumé.

Les brides inférieures se sont un peu relâchées, et on s'en aperçoit principalement au milieu de la journée, quand le soleil réchauffe les fils; mais c'est à quoi se bornent jusqu'à présent les effets sensibles de la dilatation métallique; car on n'aperçoit point à l'œil les abaissemens du tablier dus à l'allongement des cables par une grande chaleur; la température ne peut pas assez varier pour que ces allongemens soient appréciables autrement que

Digitized by Google

par le relâchement des brides; il faudrait un instrument pour les mesurer; il n'y a donc pas lieu à s'en inquiéter. C'est qu'en effet, pour une différence de 20 degrés de température, qui est bien au-delà de celle qui aura jamais lieu entre le mois de juillet 1823, époque à laquelle le pont a été fixé, et les chaleurs les plus fortes que nous ayons à supporter, pour une différence de 20 degrés, dis-je, l'augmentation des cables doit être de $\frac{20}{81\,000}$ de la longueur primitive, puisqu'à chaque degré du thermomètre centigrade correspond, dans le fer rond passé à la filière, une dilatation exprimée par la fraction $\frac{1}{81\,157}$ ou en compte rond $\frac{1}{81\,000}$ (Voy. la physique de Biot, 1.er vol. Tableau des dilatations des métaux d'après les expériences de MM. Laplace et Lavoisier). Or, la longueur des cables est d'environ 50 mètres, y compris les parties qui portent sur la pile et sur la culée, leur dilatation pour 20 degrés serait donc de $\frac{20 \times 50}{81\,000}$ ou de 12 millimètres; et une semblable dilatation, ne peut pas produire un abaissement du pont de plus de 15 à 20 millimètres; et pour des températures ordinaires cet abaissement est bien moindre encore. Quant au refroidissement, il n'est point à craindre, parce qu'en raccourcissant les cables et les brides, il donne de la tension au pont et contribue à sa solidité; et déjà nous avons passé par des températures assez basses, sans nous apercevoir d'aucun effet à craindre pour le pont. Je ne parle point des allongemens de nos cables et de nos tirans en raison des surcharges momentanées qu'ils peuvent avoir à supporter; ces allongemens sont tout-à-fait inappréciables; et, quels qu'ils soient, ils disparaissent par l'effet de l'élasticité des métaux quand la cause qui les a produits cesse.

On voit, par ce qui précède, qu'il serait inutile d'accroître les

Digitized by Google

dépenses de construction, pour se ménager des moyens mécaniques d'augmenter ou de diminuer à volonté la tension des cables; il suffit pour parer aux abaissemens possibles et calculables, de donner au tablier une convexité telle, que dans le cas le plus défavorable, elle ne disparaisse point en entier. Ces moyens de tension ne seraient réellement utiles qu'au moment de l'établissement du pont, pour donner aux faisceaux la forme et la tension qu'on juge convenables; mais, une fois posés, il n'y a plus de changement à leur faire subir. Et d'ailleurs, quand les fils ont pris un pli sur leurs supports, il ne serait pas sans danger de les allonger ou de les raccourcir, parce que ces fils, alternativement pliés et redressés, pourraient se rompre; il faudrait donc que, le mécanisme fût adapté entre les culées, que, par exemple, il consistât en vis à double filet tournés en sens contraire, ou compliquer les moyens de support de telle sorte que les cables ne fussent pas pliés, mais directement accrochés à de grosses vis à écrous jouant dans de fortes plaques métalliques, ou à tout autre artifice au moyen duquel on pût modifier la tension; autre difficulté: un cable, une fois posé et chargé du poids du pont, ne doit plus être touché. Les brides seules et les faisceaux suspenseurs, peuvent s'attacher à des vis à crochets, qui permettent de les tendre ou de les lâcher au besoin, pour maintenir le pont dans une assiette convenable, suivant les différentes températures. C'est le seul moyen de correction qui me paraisse convenable, parce que c'est le seul qui ne fatigue par les cables, et qui conserve aux faisceaux suspenseurs, une tension uniforme sur toute la longueur du pont.

Les chaînons qui reposent sur la pile intermédiaire n'éprouvent, quoique libres, aucun frottement par l'effet des vibrations du pont. Il n'est jamais arrivé, qu'un des ponts surchargé entraînât l'autre, et le fît remonter, même de la plus petite quantité; le poids du tablier, les brides inférieures, et le pli des chaî-

Digitized by Google

nons sur les coussinets, s'opposent à tout glissement des cables ; c'est ce que j'espérais, en adoptant, pour la pile du milieu, un système de simple support sur lequel les cables ne seraient point arrêtés. S'il en était autrement, et si les chaînons étaient exposés à quelque déplacement sur leurs coussinets, on serait obligé de donner aux piles intermédiaires, dans les ponts suspendus, la force des culées, et d'y arrêter les cables aussi solidement qu'aux deux extrémités du pont, ce qui compliquerait la construction et augmenterait beaucoup la dépense. On pourra donc, en pratique, faire les supports intermédiaires aussi légers qu'on le désirera, jusqu'à la limite, cependant, que comporte la nature des matériaux employés, relativement à leur force pour résister à une charge verticale.

Je craignais que les bobines d'assemblage qui sont, comme on a vu, en fonte de fer, ne résistassent que difficilement aux effets des chocs que le pont aurait à supporter, la fonte étant une substance sans élasticité. Mais je n'ai pas tardé à être rassuré quand j'ai vu combien un choc quelconque, imprimé à la charpente, s'affaiblit en se transmettant aux cables; leur élasticité l'amortit presqu'entièrement, à tel point, que pendant la construction du garde-fou, les ouvriers avaient établi une enclume sur le pont et que les coups redoublés du marteau se faisaient à peine sentir aux bobines d'assemblage. C'est un résultat heureux pour les ponts suspendus en général.

Les deux moyens d'attache, adoptés pour fixer les cables aux culées, ont également réussi; c'est-à-dire que les tirans verticaux retenus par les barres d'arrêt scellées dans les fondations de la culée intérieure, et les tirans inclinés implantés en terre dans un massif de maçonnerie à l'autre culée, n'ont cédé en aucune manière à l'action du tirage. Les culées, ainsi que la pile intermédiaire, ont résisté à tout ébranlement, et maintenant que la maçonnerie s'est consolidée, il n'y a plus aucun risque à cou-

Digitized by Google

rir. Le premier mode d'attache exige que la culée ait beaucoup de force pour vaincre la puissance qui tend à la renverser; le second en demande beaucoup moins, et est plus économique; moins cependant, qu'on pourrait le croire au premier coup-d'œil, en ce que la maçonnerie du dehors, ne peut pas avoir toute la légèreté des supports intermédiaires, parce que les forces qui agissent sur elle, ne se détruisent qu'en partie : le cable tirant plus horizontalement du côté du pont, que les chaînons du côté opposé, il en résulte un effort constant qui pousse la culée vers le fossé, et c'est à cette force qu'il faut s'opposer par des dimensions suffisantes dans la culée. Mais, si les tirans verticaux exigent quelque dépense de plus, ils ont, sur les tirans inclinés, l'avantage d'être mis plus facilement à l'abri de l'oxidation, et d'être mieux surveillés; on peut les garantir, jusqu'à une hauteur convenable, de toute atteinte des passans, et ils n'offrent pas, comme les autres, des moyens d'escalader les culées. Il est prudent de ne pas faire descendre trop bas les cables en fils de fer ou les chaînons, parce que la malveillance pourrait en peu de temps détruire le pont, en coupant séparément les fils des chaînons; une petite tenaille suffit pour cela.

Disons encore que, jusqu'à présent, la rouille ne s'est point manifestée dans les cables, ce qui fait espérer que nous avons trouvé le moyen de les en garantir. Attendons, cependant, avant de nous en féliciter, que le temps et les saisons diverses aient davantage exercé leur influence.

On peut conclure, de l'expérience qui vient d'être faite à Genève, sur une échelle assez grande, que les ponts suspendus en fil de fer, sont susceptibles d'une heureuse application. Les Ingénieurs, et tous ceux qui ont à cœur le bien public, doivent donc faire leurs efforts pour perfectionner ce nouveau genre de construction, et l'étendre jusqu'aux ponts des plus grandes dimensions; on en a fait en chaînes de fer forgé, pourquoi n'en

Digitized by Google

ferait-on pas en cables de fer tiré? Déjà MM. Seguin frères, ont projeté un pont pour voitures, entre Tain et Tournon, et je ne doute nullement, qu'avec le talent et l'activité qui les caractérisent, ils ne parviennent à le mettre à exécution, et n'ayent un plein succès. De mon côté, j'ai fait un projet de pont de 150 mètres d'ouverture, calculé pour porter à la fois quatre des plus lourdes charettes, dans lequel j'ai employé un système nouveau de suspension, que j'appelle *système mixte*, parce que la poussée du tablier y compense, en partie, le tirage des cables. Ce n'est pas ici le lieu d'en donner la description; je dirai seulement, que les cables sont au nombre de dix, placés sous le pont, et que le tablier forme un système de charpente en cintres d'une faible courbure qui s'appuient contre les culées, et sont portés par des colonnes de fer qui reposent elles-mêmes sur les cables. Le fil de fer remplace avec avantage, dans ce projet, le fer forgé; et il en résulte une grande simplicité d'exécution et une immense économie (1).

Je recommande, par dessus tout, la multiplication des brides inférieures ou moyens équivalens, ainsi que la solidité du tablier. Plus la masse de la charpente est grande, moins les chocs y pro-

(1) Au moment où ces dernières pages sortaient de l'impresion, a paru le mémoire de M. Navier sur les ponts suspendus; je regrette infiniment de n'avoir pas pu profiter des théories et des résultats pratiques qu'ils renferme. C'est un grand avantage pour la science de l'ingénieur qu'un homme de mérite, constructeur et savant tout à la fois, ait dirigé ses recherches sur l'objet aussi intéressant que nouveau des ponts suspendus, pour rassembler en corps de doctrine tout ce qui y a rapport. Il serait à desirer qu'il appliquât ses calculs aux ponts suspendus à des cables de fil de fer, et que, pour compléter son beau travail, il comparât ces derniers à ceux qu'il s'est principalement appliqué à étudier; il y a sans doute, entre les uns et les autres de grandes analogies, mais il existe aussi des différences essentielles, qu'il serait bon d'apprécier à leur juste valeur. Peut-être nous sera-t-il possible de faire nous-mêmes cette comparaison quand nous aurons lu attentivement l'ouvrage de M. Navier que nous ne connaissons encore que par le rapport avantageux de M. Dupin, et par un coup d'œil rapide que nous avons jeté sur le texte et sur le grand atlas qui l'accompagne.

Digitized by Google

duisent d'effet; les forces vives viennent s'y perdre, au lieu que si elle est très-légère, la moindre impulsion s'y propage d'un bout à l'autre, et, sous ce point de vue, les brides sont beaucoup plus nécessaires pour les petits ponts que pour les grands. On ne parviendra à assurer la solidité des ponts suspendus, qu'en ayant égard à ces considérations. Un pont destiné seulement aux gens à pied peut, sans de grands inconvéniens, conserver quelqu'élasticité; mais il n'en est pas de même pour celui où doivent passer des voitures conduites par des animaux, que le mouvement étonne. On ne négligera donc rien, pour empêcher les vibrations qui, d'ailleurs, sont une cause permanente de destruction.

On a encore un moyen de bander le tablier, pour s'opposer aux vibrations, mais qui ne doit s'appliquer qu'aux ponts de grandes dimensions; c'est de remplacer les faisceaux suspenseurs par des tiges de fer, d'une grosseur moyenne, comme cela se fait dans les ponts de chaînes en fer forgé; parce qu'alors les tiges, en même temps qu'elles portent le tablier et l'empêchent de fléchir, s'opposent également à ce qu'il se soulève, et détruisent les vibrations à leur naissance. Un pont, ainsi tendu entre deux cables, l'un supérieur, l'autre inférieur, et tournant leurs convexités en sens opposés, doit acquérir une grande rigidité. J'ai dit que ce procédé ne devrait s'appliquer qu'aux grands ponts; c'est que pour les petits, les cables n'auraient, ni assez de poids, ni assez de tension pour servir de points d'appui aux tiges, et que les tiges elles-mêmes seraient trop faibles, par rapport à leur longueur, pour étayer en même temps qu'elles supporteraient; ainsi, dans le pont des Tranchées, les tiges n'auraient pas eu plus de six millimètres de grosseur, par conséquent, elles seraient restées trop flexibles, et on n'aurait pas obtenu le résultat désiré; ensuite, ce procédé amène nécessairement une augmentation de main-d'œuvre qu'on peut se permettre dans

Digitized by Google

une grande construction, mais qu'il faut éviter dans une construction de moindre importance, où il est principalement nécessaire de viser à l'économie. Les tiges, telles que je les entends, seraient armées à leur partie supérieure d'une espèce de fourchette dans laquelle le cable entrerait, et dont les branches seraient serrées par un boulon appuyant sur la partie supérieure du cable; c'est ce boulon qui porterait tout le poids, il faudrait donc lui donner la force convenable; on remplirait avec des lames de plomb, les vides qui resteraient entre le boulon, les montans de la fourchette et le cable, afin d'empêcher celui-ci de se déformer à la longue. La partie inférieure de la tige serait passée dans la traverse, et taraudée sur une assez grande longueur, afin de pouvoir l'allonger ou la raccourcir au besoin, par le moyen de deux écrous, l'un en dessus, l'autre en dessous de la traverse. On voit que si ces tiges sont préférables à nos faisceaux suspenseurs, sous le point de vue de leur rigidité, il s'en faut de beaucoup que leur façon soit aussi simple et leur pose aussi facile.

Enfin, en employant le fer au lieu du bois, dans la construction du tablier, on parviendra à donner aux ponts suspendus une longue durée, et à éviter l'embarras des réparations fréquentes, lesquelles, au reste, doivent se renouveler moins souvent que dans les ponts de bois ordinaires; parce que dans les premiers, l'air joue aisément, que l'humidité ne peut séjourner nulle part, et qu'il ne vont pas chercher leurs points d'appui au fond d'une rivière.

Réunissant ces avantages à ceux d'une moindre dépense de premier établissement, résultant surtout d'un montage facile et de l'emploi du fil de fer substitué aux chaînes, dans les moyens de suspension, on sera convaincu que si les ponts suspendus doivent, en général, être préférés aux ponts de charpente construits jusqu'à ce jour, ceux qui sont supportés par

Digitized by Google

des cables en fil de fer méritent, à tous égards, qu'on s'en occupe pour leur donner le degré de perfectionnement dont ils sont susceptibles. Et, je le répète, je n'ai pas eu d'autre but, en faisant connaître les procédés que j'ai suivis, que de provoquer ces perfectionnemens. J'aurais pu en apporter moi-même plusieurs, tels que ceux que j'ai indiqués à l'égard des faisceaux suspenseurs, si je n'eusse pas eu pour principal but de voir jusqu'à quel point il est possible de s'en passer et de rendre la construction économique, et par conséquent applicable à un plus grand nombre de cas. S'il en résulte, par la suite, quelqu'effet fâcheux, on en aura l'expérience et l'on évitera de semblables défauts dans d'autres ponts ; si, au contraire, on n'y reconnaît aucun inconvénient grave, on pourra se servir des mêmes moyens et conserver aux ponts suspendus ce degré éminent de simplicité que je me suis efforcé de donner à celui de Genève. C'est ainsi que l'essai que nous venons de faire, de quelque manière qu'on l'envisage, sera nécessairement utile à la société.

FIN.

Digitized by Google

NOTE.

Les formules suivantes :

$$P = m.\ \frac{ab^2}{c} \qquad\qquad Q = 2m.\ \frac{r^3}{c}.\ \pi$$

donnent les poids P et Q que peuvent supporter à une de leurs extrémités une barre prismatique et une barre cylindrique, engagées par l'autre. (Voyez l'ouvrage de Girard intitulé : *De la résistance des solides.*)

Les barres sont supposées tout-à-fait inflexibles, et la fonte est très-sensiblement dans ce cas. La longueur de la pièce est représentée par c dans les deux formules, et cette longueur est mesurée entre le point d'application de la puissance et celui de la résistance ; a et b sont, dans la barre prismatique, les dimensions d'équarrissage perpendiculaire et parallèle à la verticale ; r est le rayon de la barre cylindre ; enfin π est le rapport de la circonférence au diamètre, et m un coefficient que l'expérience doit déterminer pour chaque substance. Les mesures sont données en millimètres.

Mon intention étant de connaître cette valeur pour la fonte de Zurich deuxième fusion, j'ai fait faire des barreaux de 360 millimètres de longueur et de grosseurs différentes ; je les ai fixés par une de leurs extrémités dans un encastrement solide et les ai chargés à l'autre jusqu'à la rupture, en tenant exactement compte des poids successifs qu'il fallait ajouter pour rompre le barreau.

Voici les résultats de ces expériences et les valeurs de m correspondantes :

	Largeur $=a$	épaisseur $=b$	longueur $=c$	Charge $=P$	Valeur de $\frac{ab^2}{c}$	Valeur corresp. de m	Observations.
Barres prismatiques.	42 mm	33 mm	420 mm	597 k	139,58	4,278 k	Il y avait une légère soufflure dans la cassure de la première barre, toutes les autres étaient saines et d'un grain bien égal.
	42	33	310	629	144,03	4,367	
	33	42	310	883	178,94	4,935	
	33	42	320	813	173,35	4,690	
	42	42	316	1017	218,11	4,663	
	42	42	315	978	218,80	4,470	
	Rayon $=r$		**longueur $=c$**	**Charge $=Q$**	**Valeur de $\pi.\frac{r}{c}$**		
Barres cylindr.	21 mm	«	314	730	92,657	3,939	
	21	«	322	708	90,355	3,917	

Valeur moyenne de $m = 4,41$

Digitized by Google

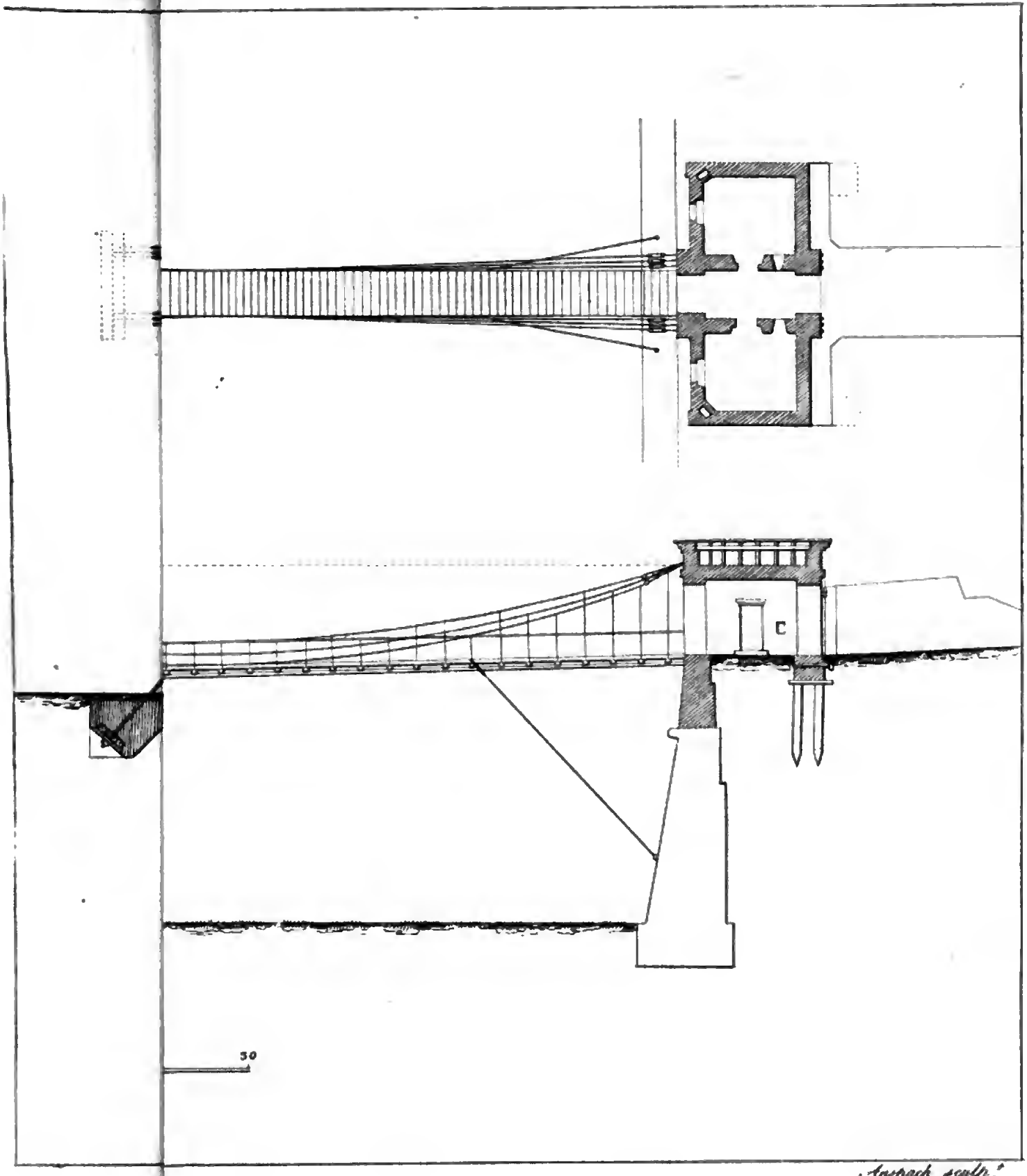
Substituant maintenant cette valeur de m dans la formule $Q = 2\,m.\,\frac{r^3}{c}.\,\pi$ je trouve $Q = 27{,}65.\,\frac{r^3}{c}$. Mais lorsque le cylindre est soutenu par ses deux extrémités et chargé dans son milieu, il est capable de supporter un poids quadruple; on a donc pour l'évaluation de ce poids $Q = 110{,}60.\,\frac{r^3}{c}$, ou pour plus de sûreté, $Q = 100.\,\frac{r^3}{c}$; et pour un cylindre creux $Q = 100.\,\frac{R^3 - r^3}{c}.\,R$. C'est la formule du texte.

Digitized by Google

TABLE.

CHAPITRE I.er — Historique, ... pag. 5
CHAPITRE II. — Expériences, ... 8
§. 1.er Force absolue et relative des fils, ... id.
Fils de laiton, ... 12
§. 2. Allongement des fils, ... 14
§. 3. De la cassure, ... 16
§. 4. Plis, nœuds et ligatures, ... 18
§. 5. Du choc, ... 20
§. 6. Effets de la température, ... 22
Tableau des forces des fils, ... 23
§. 7. Pont d'essai, ... 25
CHAPITRE III. — Description du pont, ... 28
§. 1.er Dimensions générales, maçonneries, ... id.
§. 2. Moyens de suspension, ... 33
Bobines, écheveaux et sellettes, ... 35
Faisceaux suspenseurs et brides, ... 36
§. 3. Charpente, ... 38
§. 4. Garde-fou, ... 40
CHAPITRE IV. — Calculs du pont, ... 43
§. 1.er Poids du pont, ... id.
§. 2. Force des cables, ... 45
§. 3. Force des bobines, ... 46
§. 4. Force des barres d'arrêt, ... 47
§. 5. Force des tirans, ... 48
§. 6. Force des culées, ... id.
§. 7. Force des bois, ... 50
CHAPITRE V. — Application de quelques formules au calcul des ponts suspendus, ... 51
§. 1. Longueur des cables, ... id
§. 2. Quelques lignes du cercle, ... 54
§. 3. Estimation du prix des cables, ... 58
HAPITRE VI. — Exécution, ... 60
§. 1.er Confection des cables, ... id.
§. 2. Pose des plaques en fer de fonte, ... 67
§. 3. Pose des cables, ... id.
§. 4. Pont de service, ... 70
§. 5. Montage du pont, ... 74
§. 6. Pose des brides, ... 77
CONCLUSION, ... 81

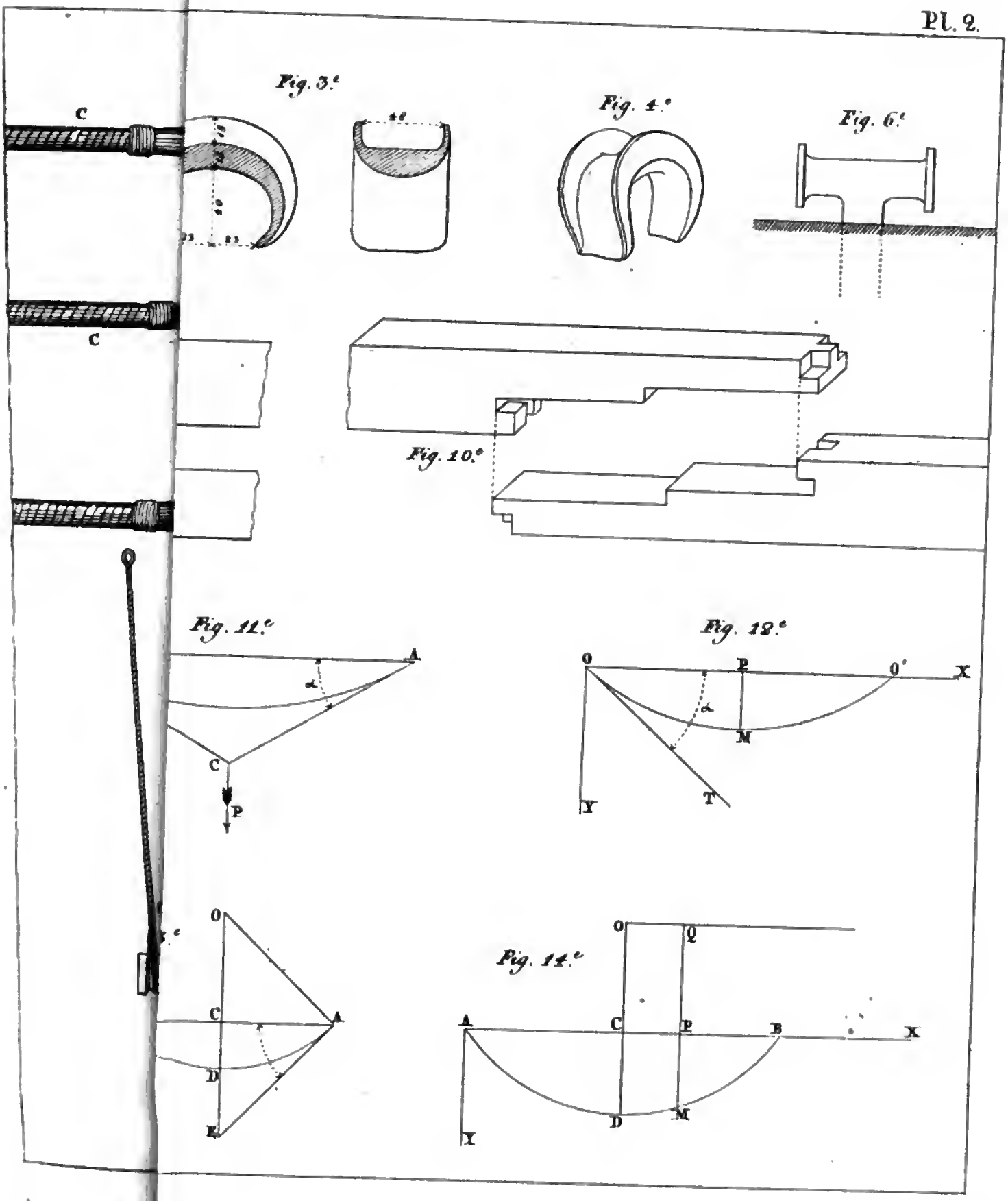
Digitized by Google



Anspach sculp.

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Österreichische Nationalbibliothek
+Z155304700

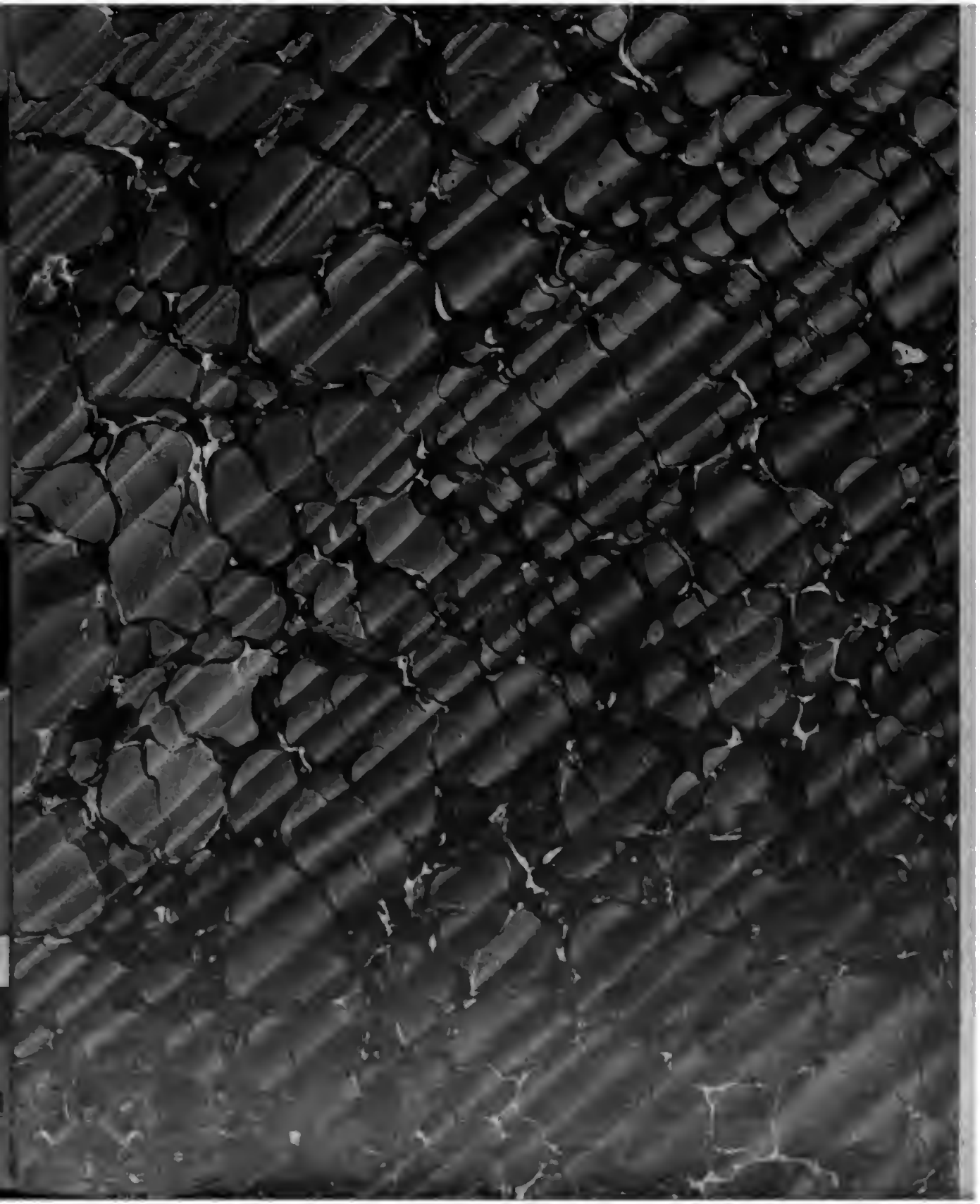
Google

Österreichische Nationalbibliothek
+Z155304700

Digitized by Google

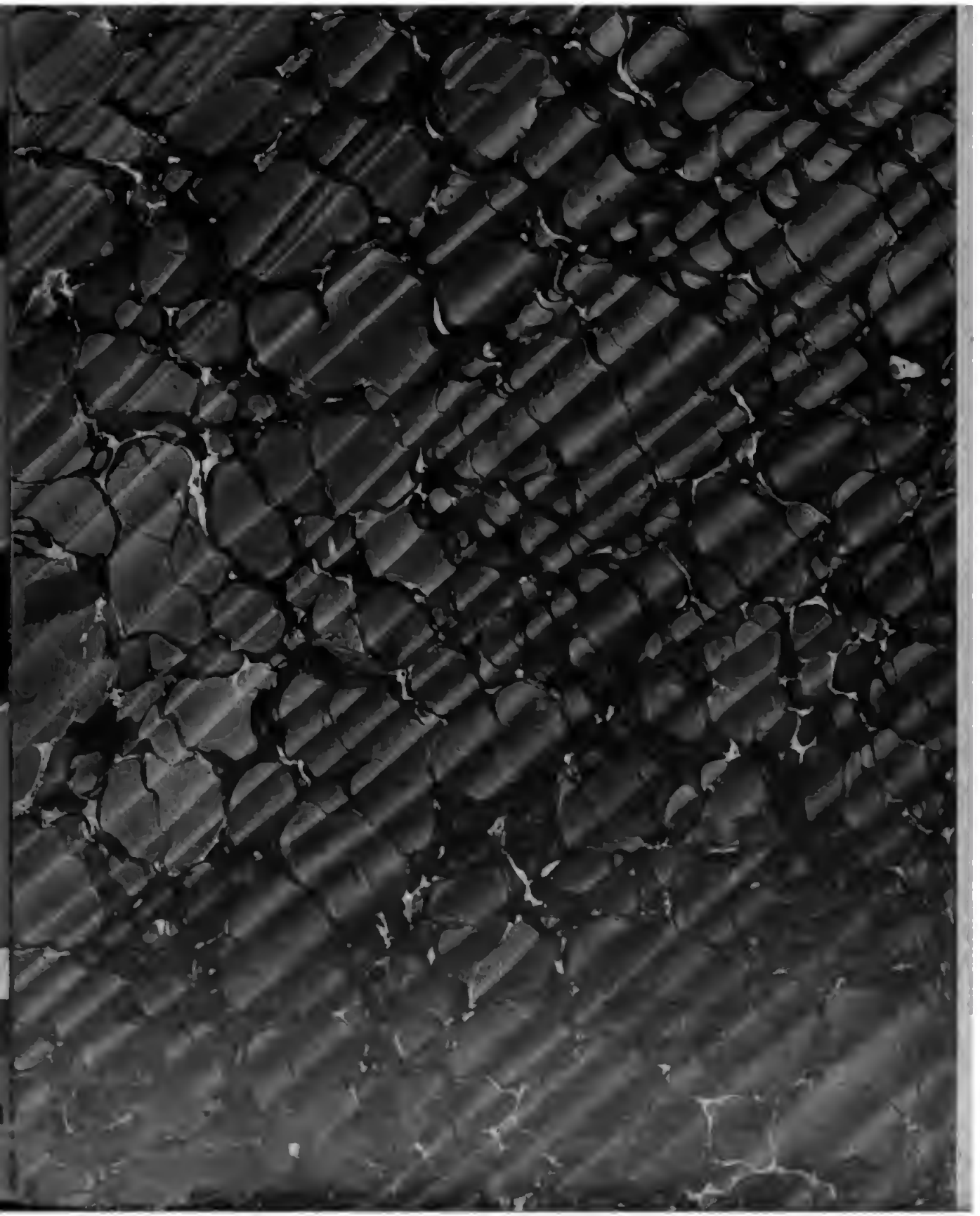
Österreichische Nationalbibliothek
+Z155304700
Digitized by Google

Österreichische Nationalbibliothek
+Z155304700
Digitized by Google



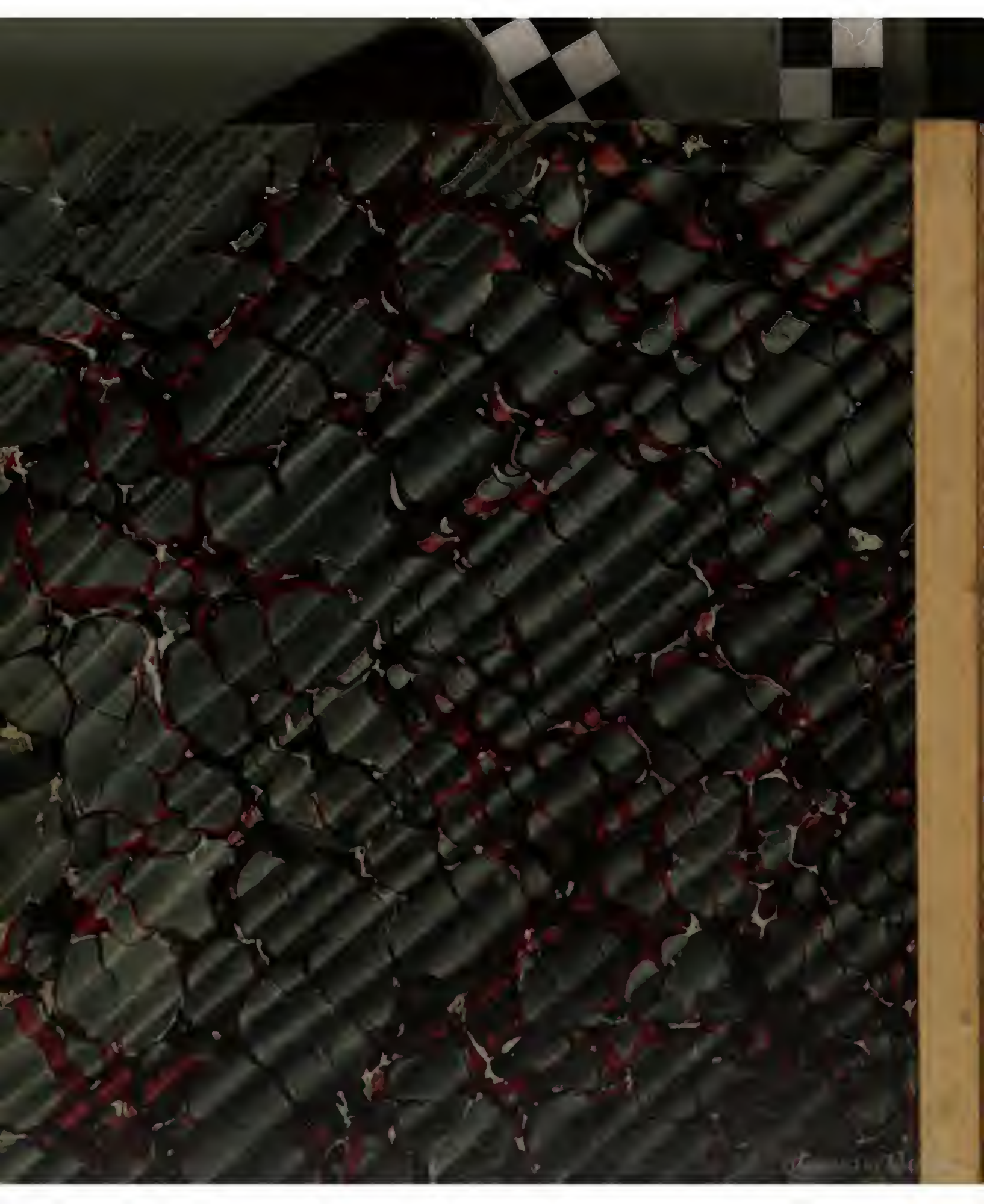
Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google